

ISSN 2518-170X (Online),  
ISSN 2224-5278 (Print)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

# Х А Б А Р Л А Р Ы

---

---

## ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

## NEWS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ГЕОЛОГИЯ ЖӘНЕ ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР  
СЕРИЯСЫ



СЕРИЯ  
ГЕОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК



SERIES  
OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

**4 (424)**

ШІЛДЕ – ТАМЫЗ 2017 ж.  
ИЮЛЬ – АВГУСТ 2017 г.  
JULY – AUGUST 2017

ЖУРНАЛ 1940 ЖЫЛДАН ШЫҒА БАСТАҒАН  
ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 1940 г.  
THE JOURNAL WAS FOUNDED IN 1940.

ЖЫЛЫНА 6 РЕТ ШЫҒАДЫ  
ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД  
PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

АЛМАТЫ, ҚР ҰҒА  
АЛМАТЫ, НАН РК  
ALMATY, NAS RK

Б а с р е д а к т о р ы

э. ғ. д., профессор, ҚР ҰҒА академигі

**И.К. Бейсембетов**

Бас редакторының орынбасары

**Жолтаев Г.Ж.** проф., геол.-мин. ғ. докторы

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

**Абаканов Т.Д.** проф. (Қазақстан)  
**Абишева З.С.** проф., академик (Қазақстан)  
**Алиев Т.** проф., академик (Әзірбайжан)  
**Бакиров А.Б.** проф., (Қырғыстан)  
**Беспәев Х.А.** проф. (Қазақстан)  
**Бишимбаев В.К.** проф., академик (Қазақстан)  
**Буктуков Н.С.** проф., академик (Қазақстан)  
**Булат А.Ф.** проф., академик (Украина)  
**Ганиев И.Н.** проф., академик (Тәжікстан)  
**Грэвис Р.М.** проф. (АҚШ)  
**Ерғалиев Г.Х.** проф., академик (Қазақстан)  
**Жуков Н.М.** проф. (Қазақстан)  
**Кенжалиев Б.К.** проф. (Қазақстан)  
**Қожахметов С.М.** проф., академик (Қазақстан)  
**Конторович А.Э.** проф., академик (Ресей)  
**Курскеев А.К.** проф., академик (Қазақстан)  
**Курчавов А.М.** проф., (Ресей)  
**Медеу А.Р.** проф., академик (Қазақстан)  
**Мұхамеджанов М.А.** проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)  
**Нигматова С.А.** проф. (Қазақстан)  
**Оздоев С.М.** проф., академик (Қазақстан)  
**Постолатий В.** проф., академик (Молдова)  
**Ракишев Б.Р.** проф., академик (Қазақстан)  
**Сейтов Н.С.** проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)  
**Сейтмуратова Э.Ю.** проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)  
**Степанец В.Г.** проф., (Германия)  
**Хамфери Дж.Д.** проф. (АҚШ)  
**Штейнер М.** проф. (Германия)

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Геология мен техникалық ғылымдар сериясы».

ISSN 2518-170X (Online),

ISSN 2224-5278 (Print)

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы қ.).

Қазақстан республикасының Мәдениет пен ақпарат министрлігінің Ақпарат және мұрағат комитетінде 30.04.2010 ж. берілген №10892-Ж мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Мерзімділігі: жылына 6 рет.

Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекенжайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18, <http://nauka-nanrk.kz/geology-technical.kz>

---

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2017

Редакцияның Қазақстан, 050010, Алматы қ., Қабанбай батыра көш., 69а.

мекенжайы: Қ. И. Сәтбаев атындағы геология ғылымдар институты, 334 бөлме. Тел.: 291-59-38.

Типографияның мекенжайы: «Аруна» ЖК, Алматы қ., Муратбаева көш., 75.

Г л а в н ы й р е д а к т о р  
д. э. н., профессор, академик НАН РК

**И. К. Бейсембетов**

Заместитель главного редактора

**Жолтаев Г.Ж.** проф., доктор геол.-мин. наук

Р е д а к ц и о н н а я к о л л е г и я:

**Абаканов Т.Д.** проф. (Казахстан)  
**Абишева З.С.** проф., академик (Казахстан)  
**Алиев Т.** проф., академик (Азербайджан)  
**Бакиров А.Б.** проф., (Кыргызстан)  
**Беспаяев Х.А.** проф. (Казахстан)  
**Бишимбаев В.К.** проф., академик (Казахстан)  
**Буктуков Н.С.** проф., академик (Казахстан)  
**Булат А.Ф.** проф., академик (Украина)  
**Ганиев И.Н.** проф., академик (Таджикистан)  
**Грэвис Р.М.** проф. (США)  
**Ергалиев Г.Х.** проф., академик (Казахстан)  
**Жуков Н.М.** проф. (Казахстан)  
**Кенжалиев Б.К.** проф. (Казахстан)  
**Кожаметов С.М.** проф., академик (Казахстан)  
**Конторович А.Э.** проф., академик (Россия)  
**Курскеев А.К.** проф., академик (Казахстан)  
**Курчавов А.М.** проф., (Россия)  
**Медеу А.Р.** проф., академик (Казахстан)  
**Мухамеджанов М.А.** проф., чл.-корр. (Казахстан)  
**Нигматова С.А.** проф. (Казахстан)  
**Оздоев С.М.** проф., академик (Казахстан)  
**Постолатий В.** проф., академик (Молдова)  
**Ракишев Б.Р.** проф., академик (Казахстан)  
**Сейтов Н.С.** проф., чл.-корр. (Казахстан)  
**Сейтмуратова Э.Ю.** проф., чл.-корр. (Казахстан)  
**Степанец В.Г.** проф., (Германия)  
**Хамфери Дж.Д.** проф. (США)  
**Штейнер М.** проф. (Германия)

«Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук».

**ISSN 2518-170X (Online),**

**ISSN 2224-5278 (Print)**

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №10892-Ж, выданное 30.04.2010 г.

Периодичность: 6 раз в год

Тираж: 300 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,

<http://наука-нанрк.kz/geology-technical.kz>

---

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2017

Адрес редакции: Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Кабанбай батыра, 69а.

Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева, комната 334. Тел.: 291-59-38.

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75

E d i t o r i n c h i e f

doctor of Economics, professor, academician of NAS RK

**I. K. Beisembetov**

Deputy editor in chief

**Zholtayev G.Zh.** prof., dr. geol-min. sc.

E d i t o r i a l b o a r d:

**Abakanov T.D.** prof. (Kazakhstan)  
**Abisheva Z.S.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Aliyev T.** prof., academician (Azerbaijan)  
**Bakirov A.B.** prof., (Kyrgyzstan)  
**Bespayev Kh.A.** prof. (Kazakhstan)  
**Bishimbayev V.K.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Buktukov N.S.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Bulat A.F.** prof., academician (Ukraine)  
**Ganiyev I.N.** prof., academician (Tadjikistan)  
**Gravis R.M.** prof. (USA)  
**Yergaliev G.Kh.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Zhukov N.M.** prof. (Kazakhstan)  
**Kenzhaliyev B.K.** prof. (Kazakhstan)  
**Kozhakhmetov S.M.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Kontorovich A.Ye.** prof., academician (Russia)  
**Kurskeyev A.K.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Kurchavov A.M.** prof., (Russia)  
**Medeu A.R.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Muhamedzhanov M.A.** prof., corr. member. (Kazakhstan)  
**Nigmatova S.A.** prof. (Kazakhstan)  
**Ozdoyev S.M.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Postolatii V.** prof., academician (Moldova)  
**Rakishev B.R.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Seitov N.S.** prof., corr. member. (Kazakhstan)  
**Seitmuratova Ye.U.** prof., corr. member. (Kazakhstan)  
**Stepanets V.G.** prof., (Germany)  
**Humphery G.D.** prof. (USA)  
**Steiner M.** prof. (Germany)

**News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technology sciences.**

**ISSN 2518-170X (Online),**

**ISSN 2224-5278 (Print)**

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of information and archives of the Ministry of culture and information of the Republic of Kazakhstan N 10892-Ж, issued 30.04.2010

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 300 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,  
<http://nauka-nanrk.kz/geology-technical.kz>

---

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2017

Editorial address: Institute of Geological Sciences named after K.I. Satpayev  
69a, Kabanbai batyr str., of. 334, Almaty, 050010, Kazakhstan, tel.: 291-59-38.

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 4, Number 424 (2017), 5 – 19

**E. Ju. Sejtmuratova, L. A. Goganova, G. F. Ljapichev, M. M. Marfenkova, V. Ya. Zhaymina, F. F. Sajdasheva, R. T. Baratov, D. O. Dautbe**

Sciences named after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan

## CARBONIFEROUS AND PERMIAN – THE FINAL STAGE OF FORMATION OF CONTINENTAL CRUST KAZAKHSTAN

**Abstract.** For the final and most important aspect in the metallogenic stage formation of the crust Kazakhstan - Carboniferous and Permian – given the results of additional exploration sediments Kazakhstan last 25-30 years, which as reflected in the unfamiliar to the geological public, "Scheme of vertical and lateral rows formations of Carboniferous and Permian Kazakhstan"; "Scheme paleogeographic conditions of sedimentation and fossil characteristics of Carboniferous-Permian sediments Kazakhstan"; consolidated "Distribution scheme sediments Carboniferous and Permian in Kazakhstan" in the Late Paleozoic time. Schemes for the first time exhibited in 1995 at the XIII International Congress "Carboniferous and Permian of the World" (Krakow, Poland). On the basis of these schemes with the addition of new data summarized material complexes and a variety of Late Paleozoic paleogeographic-paleotectonic and conditions of their formation, have caused an extremely heterogeneous composition of the crust of Kazakhstan in the Carboniferous-Permian. The article detailed a few questions of stratigraphy hard-dating continental volcanic and volcano-sedimentary belts Zhongar Late-fold system of Balkhash in Kazakhstan.

**Keywords:** Carbon, Permian, schemes, stratigraphy, material systems, and paleogeographic situation paleotectonic.

УДК 551.311.231:551.735'736(574)

**Э. Ю. Сейтмуратова, Л. А. Гоганова, Г. Ф. Ляпичев, М. М. Марфенкова, В. Я. Жаймина, Ф. Ф. Сайдашева, Р. Т. Баратов, Д. О. Даутбеков**

Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

## СТАНОВЛЕНИЕ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ КАЗАХСТАНА В ПОЗДНЕПАЛЕОЗОЙСКОЕ ВРЕМЯ

**Аннотация.** Для завершающего и наиболее важного в металлогеническом аспекте этапа формирования земной коры Казахстана – карбона и перми – приводятся результаты доизучения позднепалеозойских отложений Казахстана последних 25-30 лет, которые отражены в «Схеме вертикальных и латеральных рядов формаций карбона и перми Казахстана»; «Схеме палеогеографических условий седиментации и палеонтологической охарактеризованности каменноугольно-пермских отложений Казахстана»; сводной «Схеме распространения отложений карбона и перми в Казахстане» в позднепалеозойское время. Схемы впервые демонстрировались в 1995 году на XIII-м Международном конгрессе «Карбон и пермь Мира» (г. Краков, Польша). На базе этих схем с дополнением новых данных кратко охарактеризованы вещественные комплексы позднего палеозоя и разнообразные палеогеографические и палеотектонические обстановки их формиро-

вания, обусловившие крайне гетерогенный состав земной коры Казахстанского континента на заключительном этапе его становления. В статье несколько детальнее рассмотрены вопросы стратиграфии трудно датированных континентальных вулканогенных и вулканогенно-осадочных отложений позднепалеозойских поясов Жонгаро-Балхашской складчатой системы Казахстана.

**Ключевые слова:** карбон, пермь, схемы, стратиграфия, вещественные фаунистические и флористические комплексы, палеогеографические и палеотектонические обстановки.

**Введение.** Карбон и пермь являются важнейшими этапами в формировании континентальной коры Казахстана. Именно в этот период завершилось длительное её развитие, сопровождающееся интенсивными тектоническими движениями, вызвавшими перераспределение площадей накопления осадков, поднятие к поверхности значительных магматических масс, глубокий метаморфизм ранее сформировавшихся отложений [22] и образование крупнейших месторождений черных (Соколовское, Сарбайское, Кочарское и др.), цветных (Жезказган, Конырат, Актогай, Коксай, Акжал, Шаймерден, Саяк и др.), редких (Акштатау, Восточный Конырат, Верхнее Кайракты, Коктенколь, Караоба и др.), благородных металлов (Бакырчик, Суздальское и др.). Минералогия данного уровня не ограничивается только образованием крупнейших рудных месторождений. Именно в позднепалеозойское время сформировались крупные месторождения угля, каменной соли и др. Все это объясняет огромный интерес не одного поколения геологов бывшего СССР, начиная с Н.Г. Кассина, В.П. Нехорошева, Я.С. Яговкина, К.И. Сатпаева, Е.Д. Шлыгина, Р.А. Борукаева, Г.Ц. Медоева, Г.Л. Кушева, В.Ф. Беспалова, А.С. Кумпана, Н.А. Афоничева и других к вопросам геологии, стратиграфии, палеонтологии и металлогении карбона и перми [3-5, 12, 17, 34-36 и др.].

Для выявления обстановок осадконакопления в карбоне и перми Казахстана авторами впервые были составлены: «Схема вертикальных и латеральных рядов геологических формаций карбона и перми Казахстана» (рисунок 1) [38], «Схема условий накопления отложений карбона и перми Казахстана и их палеонтологической охарактеризованности» (рисунок 2) [38]. В основу этих схем за исключением Жонгаро-Балхашского региона, легли стратиграфические корреляционные схемы карбона и перми Казахстана, рассмотренные и принятые на последнем III Казахстанском стратиграфическом совещании (1986) и результаты многочисленных исследований каменноугольных и пермских отложений Казахстана, проводившихся в 60-90 гг. прошлого столетия [1-14, 16-21, 23-33, 37-38 и др.].

Учитывая, что конкретные формации и их ассоциации (вещественные комплексы) являются производными определенных геологических процессов, реализующихся в различных палеоклиматических, палеогеографических и палеогеодинамических обстановках, составленные схемы позволяют наиболее объективно восстанавливать палеоусловия накопления отложений и, что особенно важно, реконструировать палеотектонические процессы формирования континентальной коры.

Для проведения корреляции отложений исследуемых эпох и анализа длительности условий осадконакопления авторы широко задействовали наряду с данными по биостратиграфии и материалы по радиогеохронологии (таблица 1) [19]. Отмеченный комплекс определен в результате длительной работы авторов в областях широкого распространения континентальных вулканоплутонических ассоциаций, где радиологические данные довольно успешно были использованы как для датирования горных пород, так и для их корреляции [18-19, 25-26, 31-33 и др.].

Радиологический каркас дает возможность скоррелировать как континентальные, так и морские отложения карбона и перми всего Казахстана, так как общеизвестно: во-первых, интрузивные комплексы, завершающие вулканоплутонические ассоциации, жестко привязаны к тектоническим фазам, отражающим смену режимов в развитии земной коры [1, 15, 18, 21, 22 и др.] или, возможно, к глобальным катастрофическим явлениям, что достаточно обоснованно устанавливается по комплексу геологических событий; во-вторых, тектоно-магматические процессы, обладая вполне определенной периодичностью, имеют планетарный характер, что прекрасно показано в сводках М. М. Рубинштейна (1976) и А. А. Пронина (1969).

Согласно определенным интрузивным эпизодам и несогласиям в истории позднего палеозоя Казахстана выявлены девять главных этапов: раннетурнейско-ранневизейский ( $C_{1t_1-v_1}$ )\*; ранне-

---

\*Датирование каменноугольных и пермских стратифицированных и интрузивных подразделений (свит, комплексов) дается по-старому, в соответствии с МСШ 1992 года.

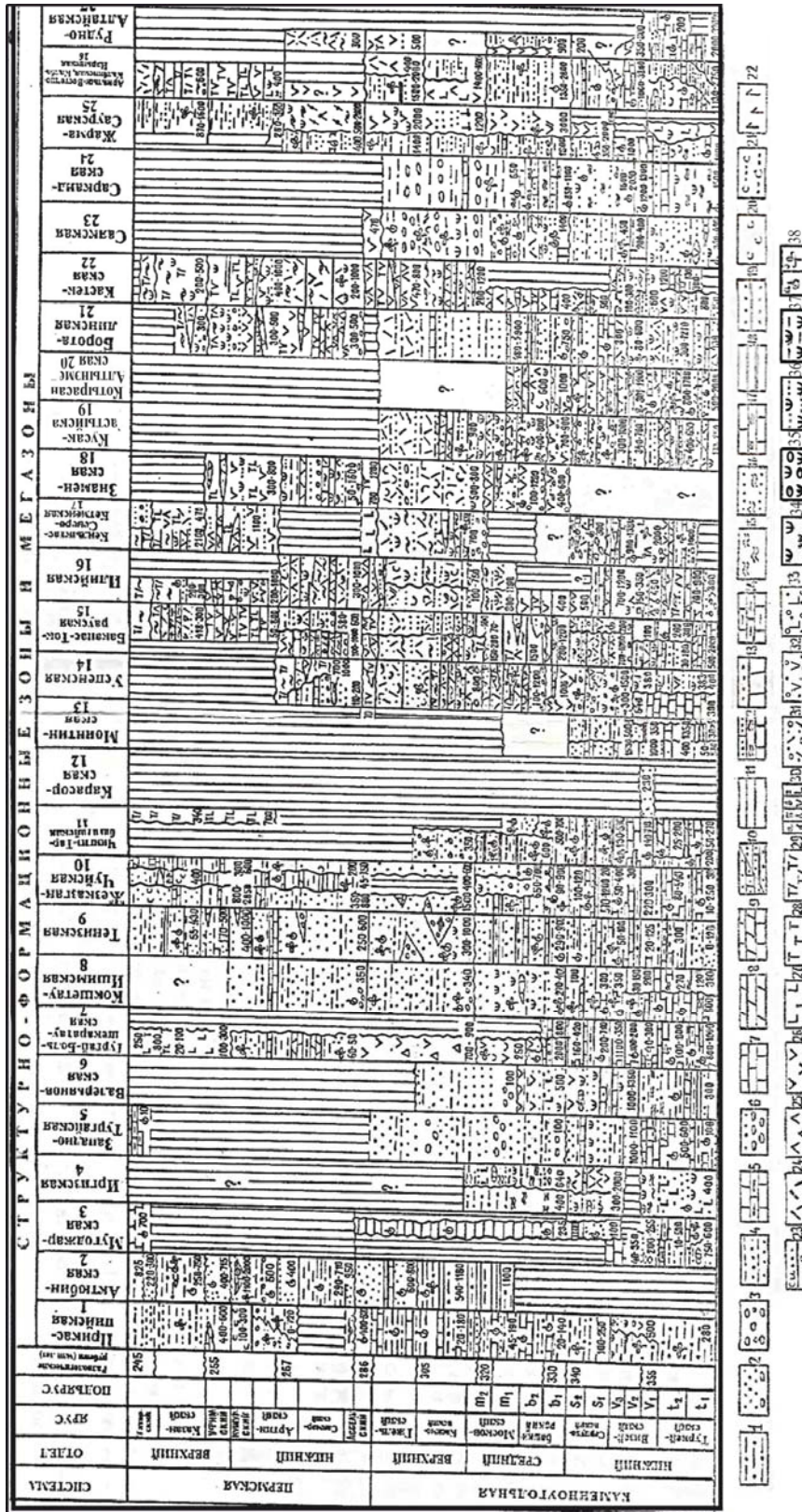


Рисунок 1 – Схема вертикальных и латеральных рядов геологических формаций карбона и перми Казахстана [38]

Figure 1 – Scheme of vertical and lateral series of geological formations of Carboniferous and Permian of Kazakhstan [38]

1-23 – Осадочные отложения: 1 – терригенные тонкообломочные ассоциации, 2 – терригенные среднеобломочные, 3 – терригенные грубообломочные, 4 – флишевые ассоциации, 5 – карбонатный флиш, 6 – молласы, 7 – известняки, 8 – доломиты, 9 – известняково-доломитовые, 10 – карбонатно-терригенные, 12 – терригенно-кремнисто-карбонатные, 13 – терригенно-битуминозно-карбонатные, 14 – карбонатно-мергелистые, 15 – кремнистые, 16 – терригенно-кремнистые, 17 – карбонатно-кремнистые, 18 – уголь, 19 – терригенно-углистые, 20 – соль, 21 – терригенно-соляные, 22 – гипс, 23 – медистые; 24-39 – вулканогенные формации: 24-30 – эффузивные, эструзивные и субвулканические фации различного состава – 24 – риолиты, 25 – дациты, 26 – андезиты, 27 – базальты, 28 – трахиты, 29 – трахириолиты\*, 30 – вулканические породы с натриевым типом щелочности: а) риолиты, б) андезиты, в) базальты, 31-34 – пирокластические породы: 31 – кислого, 32 – среднего, 33 – основного состава (игнимбриты, игниспумиты, литокристаллоластические туфы, тонкообломочные кристаллоластические слепшиеся пелловое и агломератные туфы, вулканические эруптивные брекчи различного состава); 34-37 – вулканогенно-осадочные отложения: 34 – туффиты, 35 – туфоконгломераты, 36 – туфопесчаники, 37 – туфоалеволиты, 38 – фауна (а), флора (б).

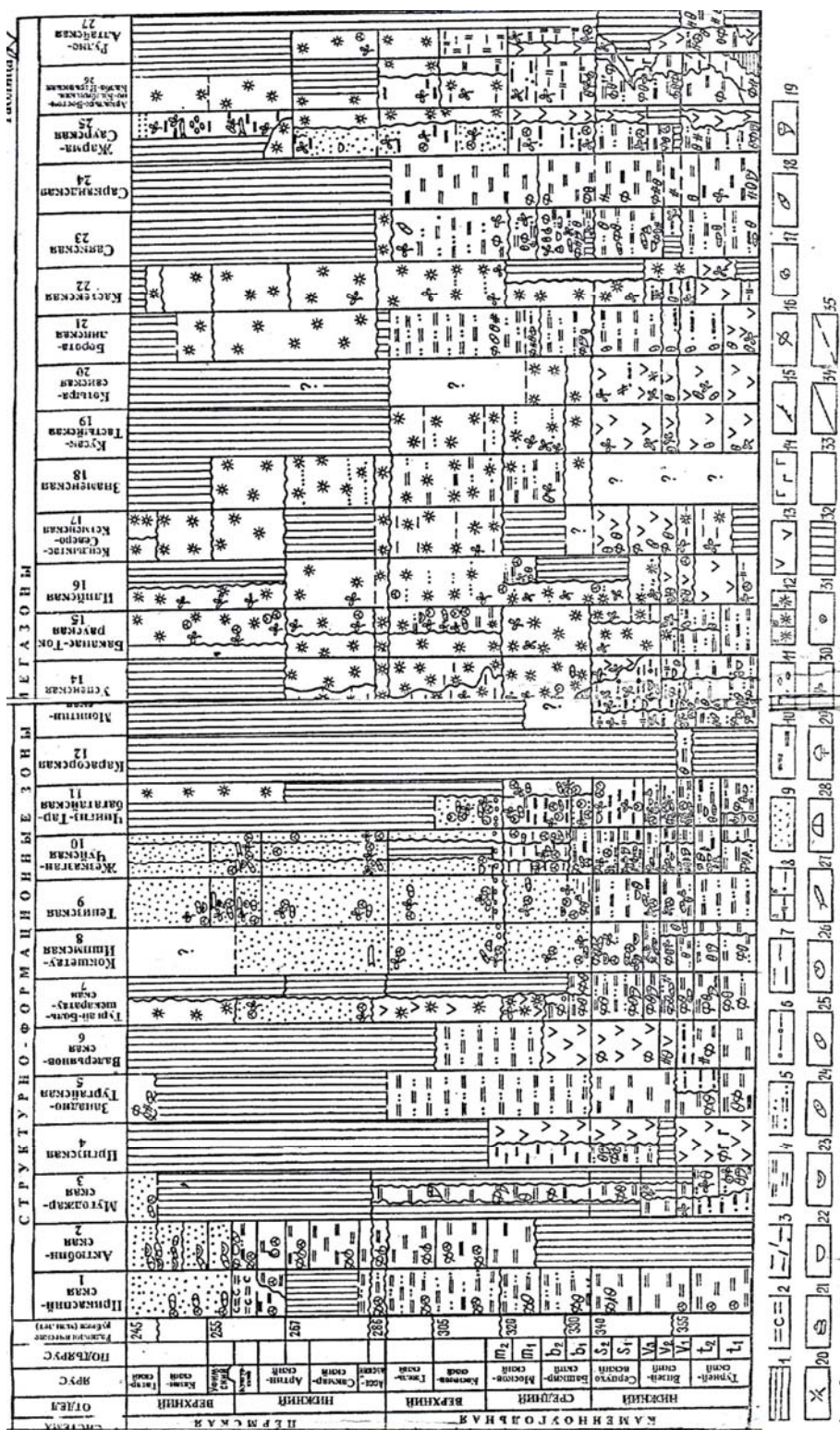


Рисунок 2 – Схема палеогеографических условий, седиментации и палеонтологической охарактеризованности каменноугольно-пермских отложений Казахстана [38]

Figure 2 – Scheme of paleogeographical conditions, sedimentation and paleontological characterization of Carboniferous-Permian deposits of Kazakhstan [38]

1 – глубокое море, 2, 3 – континентальное море, 4 – фаши подножья склона, 5 – мелкий шельф, 6 – внутриконтинентальное море, озеро с повышенной солёностью, 7 – внутриконтинентальное море, озеро с пониженной солёностью, 8 – прибрежная равнина: а) прибрежная низменность, б) заболоченная низменность, 9 – аллювиально-озерная равнина, 10 – лимнический бассейн, 11 – межгорные впадины, 12 – области континентального вулканизма, (вулканы, вулканические массивы и вулканические горы, цепи, пояса: а) внутриконтинентальные вулканические пояса, б) краевые вулканические пояса, в) вулканы и вулканические массивы прибрежной полосы затопляемые морем; 13 – вулканические островные дуги, вулканические массивы; 14 – подводные вулканические зоны. Фауна и флора; 15 – конодонты, 16 – фораминиферы, 17 – гониатиты, 18 – брахиоподы, 19 – кораллы, 20 – мшанки, 21 – гастроподы, 22 – морские пелициподы, 23 – неморские остракоды, 24 – морские остракоды, 25 – неморские пелициподы, 26 – филлоподы, 27 – рыбы, 28 – амфибии, 29 – рептилии, 30 – флора, 31 – миоспоры, 32 – интервал осадконакопления, 33 – суша, 34 – границы структурно-формационных зон и мегазон, 35 – фрагменты разломов



Таблица 1 – Возрастная региональная шкала позднего и среднего палеозоя Центрального Казахстана [19]

Table 1 – Age regional scale of the Late and Middle Paleozoic of Central Kazakhstan [19]

Возрастные уровни		Возраст	
эффузивные	интрузивные	палеонто-логический	радиологический* (K-Ar, Rb-Sr), млн лет
	кызылрайский (баканасский, кызыладырский)		245 (P <sub>2</sub> -T <sub>1</sub> ?kz) 255 (P <sub>2</sub> <sup>3</sup> kzd)
жанский, сейриктауский, малайсаринский		P <sub>2</sub>	
	кадырский		255 P <sub>2</sub> <sup>2</sup> kd
майтасский, бакалинский, жельдыкоринский		P <sub>1-2</sub>	
	торангылыкский		267
шангельбайский, верхнекызылкиинско-кармысский, караирекский, жалгызгаашский		P <sub>1</sub> <sup>2</sup>	
	кокдомбакский		283(275?)
джангельдинский, нижнекызылкиинский, достарский, акшокинский, актобинский, бескайнарский		P <sub>1</sub> <sup>1</sup>	
	акшатауский		287-300
коскызыльский, таскоринский, колдарский, верхнекугалинский		C <sub>2</sub> m <sub>2</sub> -C <sub>3</sub>	
	калдырминский		322
керегетасский, нижнекугалинский		C <sub>2</sub> b <sub>2</sub> -C <sub>1</sub> m <sub>1</sub>	
	топарский		331
калмакэмельский, дегерезский		C <sub>1</sub> s <sub>2</sub> -C <sub>2</sub> b <sub>1</sub>	
	балхашский		341
кусакский, каркаралинский, батпакский		C <sub>1</sub> v <sub>2</sub> -s	
	карабулакский		353
чингильдинский		D <sub>3</sub> <sup>2</sup> -C <sub>1</sub> v <sub>1</sub>	
	кызылэсписнский		373
жаксыконский		D <sub>2</sub> gv-D <sub>3</sub> <sup>1</sup>	
	огузтауский		394

\*Радиологический возраст дается по шкале Харленда [143].

средневизейский (C<sub>1</sub>v<sub>1</sub>-v<sub>2</sub>); поздневизейско-раннесерпуховский (C<sub>1</sub>v<sub>2</sub>-s<sub>1</sub>); позднесерпухов-раннебашкирский (C<sub>1</sub>s<sub>2</sub>-C<sub>2</sub>b<sub>1</sub>); позднебашкирско-раннемосковский (C<sub>2</sub>b<sub>2</sub>-m<sub>1</sub>); позднемосковско-гельский (C<sub>2</sub>m<sub>2</sub>-C<sub>3</sub>g); раннеассельский (P<sub>1</sub>a<sub>1</sub>), позднеассельско-раннеартинский (P<sub>1</sub>a<sub>2</sub>-a<sub>1</sub>); позднеартинско-татарский (P<sub>2</sub>a<sub>2</sub>- P<sub>2</sub>t) [39 и др.].

Для всех указанных этапов составлены литолого-палеогеографические схемы [39], показывающие большое разнообразие палеогеографических обстановок в Казахстане, среди которых: глубокий и мелкий шельф, континентальный склон, глубоководные впадины шельфовых морей, крупные озера с повышенной и пониженной соленостью, заболачиваемые и временно затапливаемые прибрежные равнины, аллювиально-озерные долины, лимнические бассейны, бассейны тыловые, предгорные и межгорные впадины, континентальные области, вулканические островные дуги, окраинно-континентальные (краевые) и внутриконтинентальные вулканоплутонические пояса [25, 27, 31, 38 и др.].

В обобщенном схематическом виде данные о распространении отложений карбона и перми Казахстана [3-14, 16-18, 20, 23-38 и др.] показаны на рисунке 3.

Внимательное рассмотрение продуктов седиментогенеза в карбоне и перми (рисунки 1–3) [18, 39] подтверждает правильность выводов предшественников о различиях в строении и особенно в геологическом развитии Западного и Восточного блоков территории Казахстана. Большинство тектонистов [1, 3, 4, 16-18, 21, 22, 34 и др.] однозначно считают, что оба блока относятся к двум глобальным структурным элементам фанерозоя: Западный – к Восточно-Европейской платформе, а Восточный – к Урало-Монгольскому подвижному поясу, характеризующемуся очень сложным строением. В составе Урало-Монгольского пояса выделяется несколько складчатых систем: в каледонскую тектоническую эпоху сформировались Кокшетав-Северо-Тянь-Шаньская, Шынгыс-Тарбагатайская и, заходящая на небольшой площади на территорию Казахстана, Алтае-Саянская;

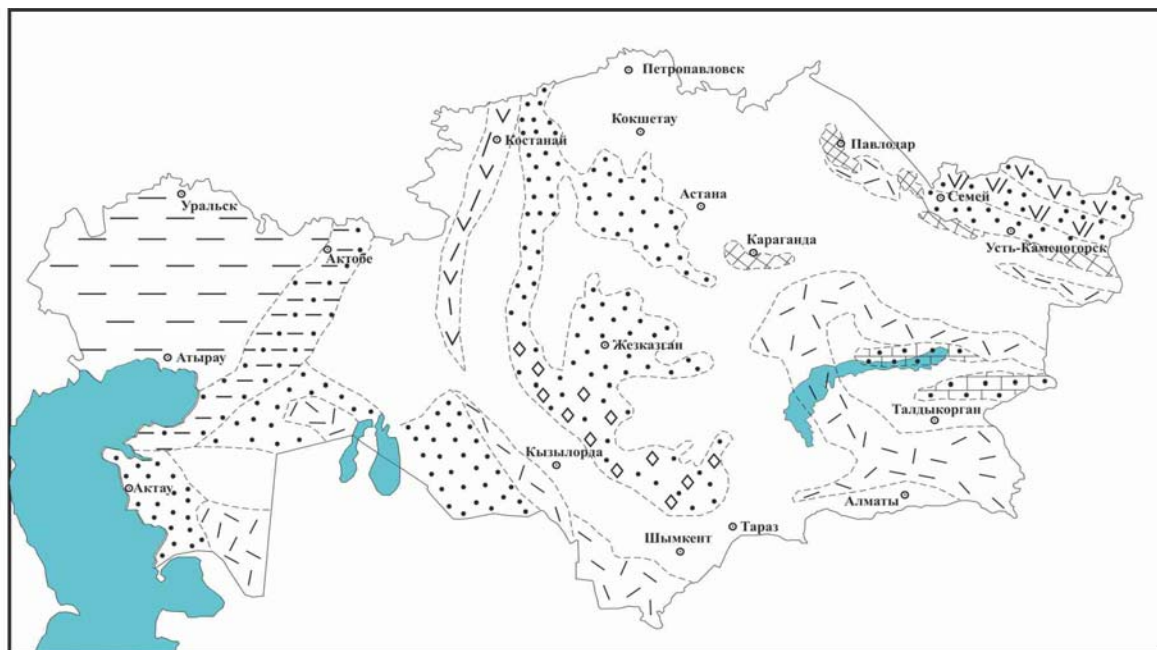


Рисунок 3 – Сводная схема распространения отложений карбона и перми в Казахстане [3-14, 16-18, 20, 23-38 и др.].

Figure 3 – Summary scheme for the spread of Carboniferous and Permian deposits InKazakhstan [3-14, 16-18, 20, 23-38, etc.].

1 – «континент» без осадков (области сноса); 2 – осадочные отложения эпиконтинентальных морских бассейнов; 3 – прибрежно-континентальные отложения; 4 – осадочные отложения закрытых остаточных бассейнов; 5 – морские вулканогенно-осадочные отложения; 6 – красноцветные и пестроцветные континентальные терригенные осадки; 7 – терригенно-соленосные отложения; 8 – терригенно-угленосные отложения; 9 – вулканогенно-осадочные образования островодужного типа (энсиалические); 10 – вулканогенные отложения континентальных вулcano-плутонических поясов.

в герцинскую – разобщенные Жонгаро-Балхашская, Зайсанская и Уральская складчатые системы [1, 4 и др.].

На протяжении карбона и перми Западный блок Казахстана, являвшийся окраиной Восточно-Европейского континента, оставался пассивным. Весь этот период здесь существовал глубоководный Прикаспийский бассейн, окруженный карбонатными шельфами и карбонатными рифогенными массивами. В бассейне отмечается преимущественно осадочный седиментогенез. Мощные толщи **терригенных, карбонатных, терригенно-карбонатных, терригенно-соляных, терригенно-кремнистых, карбонатно-мергелистых, терригенно-углистых и других осадочных формаций** (рисунки 1-3) [11, 34-38], наращивающие чехол Восточно-Европейской платформы, формировались по В. М. Синицыну [34] в сложной и динамичной обстановке, о чем свидетельствуют чрезвычайная изменчивость и разнообразие разрезов карбона. Прикаспийский бассейн, занимавший большую часть территории Западного блока, характеризуется крайне расчлененным дном и многочисленными архипелагами островов, ряд из которых были вулканическими. Уже с конца карбоновой эпохи здесь появляются массивы суши.

В пермское время осушается значительная часть территории Западного блока. В связи с начавшейся в ранней перми коллизии Казахстанского континента с Таримом и Восточно-Европейским континентом, происходит частичное закрытие Прикаспийского бассейна с образованием полузамкнутых глубоководных бассейнов, в которых происходило мощное соленакопление [1, 4, 11, 15, 34, 38 и др.].

В поздней перми отмечается надвигание кряжа Карпинского и Уральского складчатого пояса на Прикаспийскую впадину и Устюрт, где накапливались мощные терригенные и соленосные внутриконтинентальные толщи [37]. Красноцветные терригенные отложения формировались также в ряде других впадин Казахстана. Пермские отложения, из-за плохой обнаженности, изученные

лишь по керну поисковых скважин, фиксируются помимо Прикаспийской, в Актюбинской, Тургай-Большечаратауской, Чу-Сарысуйской впадинах. В разрезах преобладают континентальные красноцветы, терригенно-углистые и терригенно-соляные отложения, содержащие преимущественно ископаемые флористические остатки. Общий характер тектонического развития Западного блока в перми не оставляет сомнений в том, что его рельеф в этот период был равнинным с высотой, колеблющейся около нулевого уровня, что, вероятно, и определило попеременное существование континентальных и морских условий [34].

Становление континентальной коры в Восточном блоке в карбоне и перми шло по совершенно отличному и значительно более сложному сценарию.

Главным моментом на позднепалеозойском этапе формирования континентальной коры Восточного геоблока является возобновление субдукции океанической коры под Казахстанский континент, с которой связано возникновение ряда сложно построенных островных вулканических дуг (каменноугольной Валерьяновской, фамен-раннетурнейского возраста Акмая-Котырассан-Кусак-Тюлькулинской) и вулканоплутонических поясов (каменноугольного окраинно-континентального Тасты-Кусак-Котырассан-Алтынэмельского и каменноугольно-пермского внутриконтинентального Балхаш-Илийского) [31, 38 и др.]

Разнообразие ландшафтно-геоморфологических обстановок Восточного блока определило весьма различные парагенезы позднепалеозойских образований, которые можно разделить по А.С. Кумпану [17] на четыре основные группы:

1. Красноцветные песчано-глинистые и карбонатные отложения, развитые преимущественно в западной части Центрального Казахстана (Тенгизский, Жезказганский районы и Бетпак-Дала). В группе красноцветных осадочных образований выделяются пестроцветные отложения, являющиеся как бы переходными от красноцветных к угленосным (Тениз-Коржункульский район).

2. Лагунно-континентальные угленосные песчанико-сланцевые отложения (Караганда, Прииртышье, Сауыр).

3. Континентальные вулканогенные и вулканогенно-осадочные образования (Северное Прибалхашье, Жонгария, Прииртышье, Калбинский район, южная окраина Прибалхашской впадины).

4. Морские песчанико-сланцевые, частично карбонатные отложения, во многих районах переслаивающиеся с вулканогенными породами (Саякский остаточный бассейн, Жонгарский Алатау, Кетмень, Каратау, Юго-Восточный Тарбагатай).

Красноцветные (пестроцветные) песчано-сланцевые отложения верхнего палеозоя, как отмечено выше, развиты в пределах западного и северо-западного обрамления Жонгаро-Балхашской складчатой области в пределах Тенгизской, Жезказганской и Чу-Сарысуйской впадин.

В Тенизской впадине верхнепалеозойские отложения представлены наиболее полно. Здесь известны образования среднего и верхнего карбона, нижней и верхней перми.

Жезказганская впадина отделена от Тенгизской обширным Сарысу-Тенгизским поднятием. Верхнепалеозойские отложения в пределах Жезказганской впадины представлены красноцветными и сероцветными песчаниками, сланцами среднего и верхнего карбона и преимущественно карбонатными породами (мергелями) нижней перми.

Красноцветные соленосные отложения верхнего палеозоя вскрыты скважинами в Чуйской впадине, к северо-востоку от хр. М. Каратау, в Центральном Каратау и на северных склонах Тянь-Шаня.

Угленосные отложения позднего палеозоя распространены в тылу вулканических поясов, в прибортовых частях Жонгаро-Балхашской и Зайсанской складчатых систем [7, 12, 17 и др.]. Наиболее крупная из этих депрессий – Карагандинская, в которой позднепалеозойские угленосные отложения располагаются в западной части, занимая в ее пределах сравнительно небольшие площади. Кроме того, угленосные отложения, сходные с таковыми Карагандинского бассейна, выявлены в пределах Самарского и Завьяловского месторождений, расположенных к западу от бассейна.

В пределах Зайсанской складчатой области верхнепалеозойские угленосные отложения наиболее полно представлены на Кендерлыкском месторождении в хр. Сауыр и образуют сравнительно небольшие выходы в Прииртышье (месторождения Кайнама, Елизаветинское, Кумкуль и др.), а также слагают отдельные мульды, вытянутые вдоль Иртышской зоны смятия [17].

По Власову В.И. и Рошину И.Н. [7] угленосные отложения позднего палеозоя в Восточном геоблоке формировались на фоне разнонаправленных, в целом преобладающе восходящих тектонических движений, обусловивших значительные площади распространения угленосных формаций.

Исследования угленосных формаций показывают, что в Казахстане выделяются два основных цикла угленакопления: ранне-позднекаменноугольный и пермский, проявившиеся в различных обстановках и представленные угленосными формациями разных генетических типов – субплатформенными, орогенными и переходными.

Вулканогенные и вулканогенно-осадочные образования позднего палеозоя наиболее широко развиты во внутренних частях Жонгаро-Балхашской и Зайсанской складчатых областей, где они слагают обширные площади в Северном и Северо-Восточном Прибалхашье, Жонгарском Алатау, хр. Кетмень, в Присемипалатинском районе, Калбинском хребте и хребтах Саур, Монрак. Во всех перечисленных районах вулканогенные породы местами переслаиваются с терригенными и карбонатными, содержащими в отдельных случаях морскую фауну [8-10, 13, 14, 17, 24, 28 и др.].

В Прибалхашье позднепалеозойские вулканогенно-осадочные образования занимают огромные площади в пределах Токраусской, Северо-Балхашской и Баканасской впадин, образуя здесь вулканические структуры (ВС) простого и сложного строения. Наиболее хорошо разрезы пород этого возраста изучены в пределах Майтасской, Калмакэмельской, Сарыозекской, Курайлинской, Каргалинской и других ВС [16, 17, 24-33, 38 и др.].

На юге Казахстана вулканогенные образования широко распространены на южных и западных склонах Жонгарского Алатау, в хр. Кетмень, а также известны на северных склонах Заилийского Алатау, на юго-восточных склонах Чуилийских гор, в Текеской впадине и на северо-восточных склонах хр. Терской Алатау, где образуют местами крутые складки, осложненные разломами, и обнажаются в отдельных блоках структур [2-5, 9-10, 17-18, 24-25, 30-33, 38 и др.]. Весьма вероятно, судя по геофизическим данным, присутствие позднепалеозойских вулканических образований в Южно-Прибалхашской впадине под покровом мезозой-кайнозоя.

Работами позднепалеозойской группы ИГН им. К. И. Сатпаева последних 25–30 лет отложения карбона и перми Жонгаро-Балхашской складчатой системы (ЖБСС) детально изучены, проведена формационная типизация стратиграфических подразделений и интрузивных комплексов, составлены «Стратиграфическая схема отложений карбона и перми ЖБСС» (таблицы 2.1, 2.2), «Схема вертикальных и латеральных рядов формаций» [24-25, 31 и др.]. Все это позволило с актуалистических позиций провести структурно-формационное районирование ЖБСС (рисунок 4) [24-26, 31 и др.] и выделить следующие типы палеоструктур: Жонгаро-Балхашский окраинный палеобассейн, развивавшийся на коре переходного типа, в котором, согласно литолого-фациальным особенностям слагающих его терригенных формаций, выделяются области внутреннего и внешнего шельфа и глубоководные впадины. Также четко выделяются: приуроченный непосредственно к береговой линии Жонгаро-Балхашского палеобассейна окраинно-континентальный каменноугольный Тасты-Кусак-Котырарсан-Алтынэмельский вулканоплутонический пояс (ВПП), развивавшийся на коре переходного типа, и внутриконтинентальный каменноугольно-пермский Балхаш-Илийский ВПП, расположенный в пределах континентальной коры. Эти ВПП являются наиболее крупными тектоническими структурами ЖБСС. Выделяются также структуры типа континентальных рифтов: девонского возраста со средне-основным вулканизмом - Акжал-Аксоранская СФЗ и Предчингизская СФЗ; каменноугольного возраста – Успенская СФЗ и пермского - с субщелочным магматизмом – Жантауская, Восточно-Баканасская, Сарыозек-Илийская СФЗ; фрагменты раннекаменноугольной Котырарсанской островной дуги; активизированный континентальный склон и блоки Актау-Жонгарского микроконтинента – это Тасарал-Кызылэспинская и Текелейская СФЗ.

Все реконструированные крупные структурно-тектонические элементы ЖБСС однозначно характеризуют её территорию как активную континентальную окраину, главные тектонические элементы которой – позднепалеозойские ВПП, развивавшиеся в карбоне и перми непрерывно, подчиняясь единой закономерности вулканических процессов – чередованию циклов, состоящих из контрастных ассоциаций вулканитов средне-основного и кислого составов с чётко выраженной тенденцией возрастания щелочности и особенно содержания в породах калия как по латерали (от краев в глубь континента), так и во времени (от  $C_1$  до  $P_2-T_1$ ) (рисунок 5) [25, 31 и др.].

Общая стратиграфическая шкала		Структурно-формационные зоны															
Система	Отдел	Ярус	Район (пески, глины)	Успенская I	Западно-Токрауская II	Жаңтауская III	Южно-Токрауская IV	Восточно-Токрауская V	Котырсан-Кусе-Тастыйская VI	Саявская VII	Котангемльская VIII	Кальмакская VIIa		Баяннская IX	Илийская X		
												Запад	Восток				
КАМЕНОЛОУГЛЫБАЯ	Верхний	Ярус Каснов	Район Жезлестин	299	303	307,2	<b>Коскымзлыльская свита (C<sub>2</sub>, T<sub>1</sub>-gz, ks)</b>										
							Успенская I	Вулканогенно-осадочная. Состав вулканогенных ридолитов, нормальная и калиевая шельности. Быстровкалинны выходы туффитов, алевролитов, известняков, песчаников, туффитов и т.д. Флора фауна 200-350 м									
								Жаңтауская III	Вулканогенно-осадочная. Ридолитовая, риолитовая и калиевая шельности. Пачки туффитов, алевролитов, известняков, песчаников, туффитов и т.д. Флора фауна 250-700 м								
	Московский	Ярус Каснов	Район Жезлестин	311,7	<b>Керегетаская свита (C<sub>2</sub>, b<sub>2</sub>-T<sub>1</sub>, k)</b>												
					Западно-Токрауская II	Дашит-риолитовая, трахибазальт-риолитовая, известняково-песчаная шельности. Пачки туффитов, алевролитов, песчаников, туффитов и т.д. Флора фауна 850-1200 м											
					Жаңтауская III	Трахидашит-риолитовая, риолитовая, известняково-песчаная шельности. Пачки туффитов, алевролитов, песчаников, туффитов и т.д. Флора фауна 200-650 м											
	Вакшский	Ярус Каснов	Район Жезлестин	318	<b>Каммакмельская свита (C<sub>2</sub>, S<sub>1</sub>-C<sub>1</sub>, b<sub>1</sub>, K1)</b>												
					Успенская I	Андезит-трахибазальт-риолитовая, известняково-песчаная шельности. Флора фауна 400-1100 м											
					Жаңтауская III	Андезит-риолитовая, трахибазальт-риолитовая, известняково-песчаная шельности. Флора фауна 650-1500 м											
	Средний	Ярус Каснов	Район Жезлестин	328	<b>Каркаралинская свита (C<sub>2</sub>, S<sub>1</sub>-K)</b>												
Успенская I					Вулканогенно-осадочная. Состав вулканогенных ридолитов, нормальная и калиевая шельности. Флора фауна 400-900 м												
Жаңтауская III					Вулканогенно-осадочная. Андзит-риолитовая, риолитовая, известняково-песчаная шельности. Флора фауна 500-1300 м												
Нижний	Ярус Каснов	Район Жезлестин	328	<b>Каркаралинская свита (C<sub>2</sub>, S<sub>1</sub>-K)</b>													
				Успенская I	Вулканогенно-осадочная. Состав вулканогенных ридолитов, нормальная и калиевая шельности. Флора фауна 400-900 м												
				Жаңтауская III	Вулканогенно-осадочная. Андзит-риолитовая, риолитовая, известняково-песчаная шельности. Флора фауна 500-1300 м												
Верхний	Ярус Каснов	Район Жезлестин	328	<b>Карагалинская свита (C<sub>2</sub>, S<sub>1</sub>-K)</b>													
				Успенская I	Вулканогенно-осадочная. Состав вулканогенных ридолитов, нормальная и калиевая шельности. Флора фауна 400-900 м												
				Жаңтауская III	Вулканогенно-осадочная. Андзит-риолитовая, риолитовая, известняково-песчаная шельности. Флора фауна 500-1300 м												
Нижний	Ярус Каснов	Район Жезлестин	328	<b>Карагалинская свита (C<sub>2</sub>, S<sub>1</sub>-K)</b>													
				Успенская I	Вулканогенно-осадочная. Состав вулканогенных ридолитов, нормальная и калиевая шельности. Флора фауна 400-900 м												
				Жаңтауская III	Вулканогенно-осадочная. Андзит-риолитовая, риолитовая, известняково-песчаная шельности. Флора фауна 500-1300 м												
Верхний	Ярус Каснов	Район Жезлестин	328	<b>Карагалинская свита (C<sub>2</sub>, S<sub>1</sub>-K)</b>													
				Успенская I	Вулканогенно-осадочная. Состав вулканогенных ридолитов, нормальная и калиевая шельности. Флора фауна 400-900 м												
				Жаңтауская III	Вулканогенно-осадочная. Андзит-риолитовая, риолитовая, известняково-песчаная шельности. Флора фауна 500-1300 м												
Нижний	Ярус Каснов	Район Жезлестин	328	<b>Карагалинская свита (C<sub>2</sub>, S<sub>1</sub>-K)</b>													
				Успенская I	Вулканогенно-осадочная. Состав вулканогенных ридолитов, нормальная и калиевая шельности. Флора фауна 400-900 м												
				Жаңтауская III	Вулканогенно-осадочная. Андзит-риолитовая, риолитовая, известняково-песчаная шельности. Флора фауна 500-1300 м												
Верхний	Ярус Каснов	Район Жезлестин	328	<b>Карагалинская свита (C<sub>2</sub>, S<sub>1</sub>-K)</b>													
				Успенская I	Вулканогенно-осадочная. Состав вулканогенных ридолитов, нормальная и калиевая шельности. Флора фауна 400-900 м												
				Жаңтауская III	Вулканогенно-осадочная. Андзит-риолитовая, риолитовая, известняково-песчаная шельности. Флора фауна 500-1300 м												
Нижний	Ярус Каснов	Район Жезлестин	328	<b>Карагалинская свита (C<sub>2</sub>, S<sub>1</sub>-K)</b>													
				Успенская I	Вулканогенно-осадочная. Состав вулканогенных ридолитов, нормальная и калиевая шельности. Флора фауна 400-900 м												
				Жаңтауская III	Вулканогенно-осадочная. Андзит-риолитовая, риолитовая, известняково-песчаная шельности. Флора фауна 500-1300 м												

Таблица 2.1 – Стратиграфическая схема позднепалеозойских отложений Жонгаро-Балхашской складчатой области (карбон).

Составили: Э.Ю. Сейтмуратова, Г.Ф. Ляличев, Л.А. Гоганова, М.Р. Борухаева, Ю.И. Лялин, Е.Н. Тимофеева [25]

Table 2.1 – Stratigraphic scheme of the Late Paleozoic deposits of the Jönggar-Balkhash fold region (carbon).

Compiled by: E. Yu. Seitmuratova, G. F. Lyapichev, L. A. Goganova, M. R. Borukhava, Yu. I. Lyalin, E. N. Timofeeva [25]



1-3 - Жонгаро-Балхашский окраинный палеобассейн: 1 - внешний шельф, 2 - внутренний шельф, 3 - глубоководные впадины, 4 - окраинно-континентальный каменноугольный Тасты-Кусак-Котырарсан-Алтынэмельский вулканоплутонический пояс (ВПП), 5 - внутриконтинентальный каменноугольно-пермский Балхаш-Илийский ВПП, 6 - структуры типа континентальных рифтов пермского времени с субшелочным магматизмом; 7 - тафрогенная структура типа континентальных рифтов каменноугольного времени; 8, 9 - шовные рифтингового типа структуры со средне-основным вулканизмом девон-каменноугольного и 9 - франского времени; 10 - блоки Актау-Жонгарского микроконтинента; 11 - каледонские структуры обрамления ЖБСО; 12 - глубинные разломы и границы СФЗ; 13 - государственная граница; 14 - номера структурно-формационных зон (СФЗ): I - Успенская, II - Западно-Токрауская, III - Жантауская, IV - Южно-Токрауская, V - Восточно-Токрауская, VI - Тасты-Кусак-Котырарсан-Алтынэмельская мегазона (VI<sub>1</sub> - Тастыйское звено, VI<sub>2</sub> - Кусакское звено, VI<sub>3</sub> - Котырарсанское звено, VI<sub>4</sub> - Алтынэмельское звено), VII - Саяжская, VIII - Котанэмель-Калмакэмельская, IX - Баканаская (IX<sub>1</sub> - Западно-Баканаская, IX<sub>2</sub> - Восточно-Баканаская), X - Илийскаямегазона (X<sub>1</sub> - Северо-Жонгарская, X<sub>2</sub> - Тастау-Саркандская, X<sub>3</sub> - Тастаускийприразломный прогиб, X<sub>4</sub> - Центрально-Жонгарская, X<sub>5</sub> - Бороталинская, X<sub>6</sub> - Текелийская, X<sub>7</sub> - Панфиловская, X<sub>8</sub> - Сарьюзек-Илийская); XI - Северо-Балхашская, XII - Жаман-Сарьусуйская, XIII - Акжал-Аксоранская, XIV - Тасарал-Кызылэспинская, XV - Предчингизская, XVI - Итмурунды-Казык-Тюлькуламская

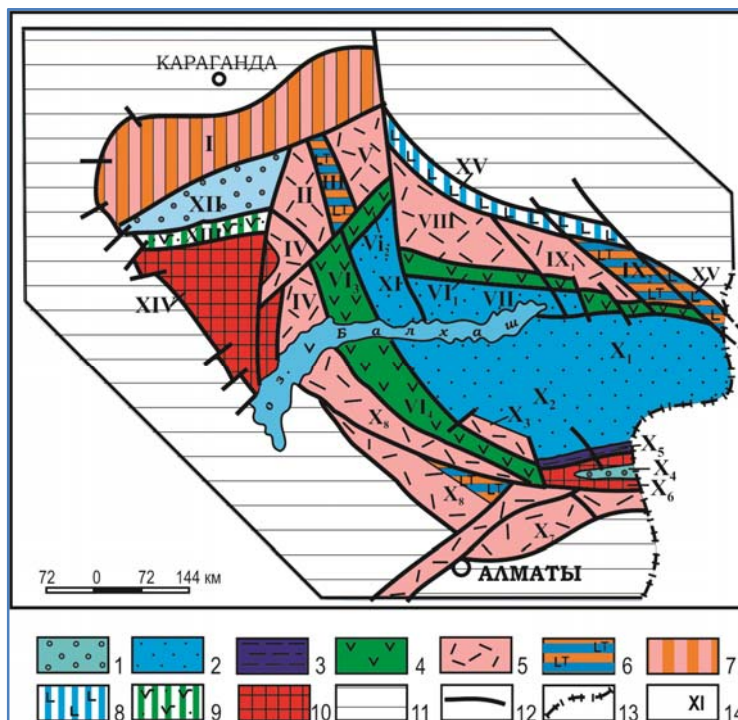


Рисунок 4 – Схема структурно-формационного районирования Жонгаро-Балхашской складчатой области [25]

Figure 4 – Scheme of structural-formational zoning of the Zhonggar-Balkhash folded area [25]

1 – средние значения химических составов разновозрастных вулканогенных пород (а - средне-основного состава, б - кислого состава) каменноугольно-пермского внутриконтинентального Балхаш-Илийского ВПП ЖБСС; 2 - средние значения химических составов разновозрастных вулканогенных пород (а - средне-основного состава, б - кислого состава) каменноугольного окраинно-континентального Тасты-Кусак-Котырарсан-Алтынэмельского ВПП ЖБСС; 3 - контур ареалов распространения вулканогенных пород внутриконтинентального ВПП; 4 - контур ареалов распространения вулканогенных пород окраинно-континентального ВПП; 5 - А, Б, В - поля развития нормальных известково-щелочных (А), субщелочных (Б) и щелочных (В) магматических пород

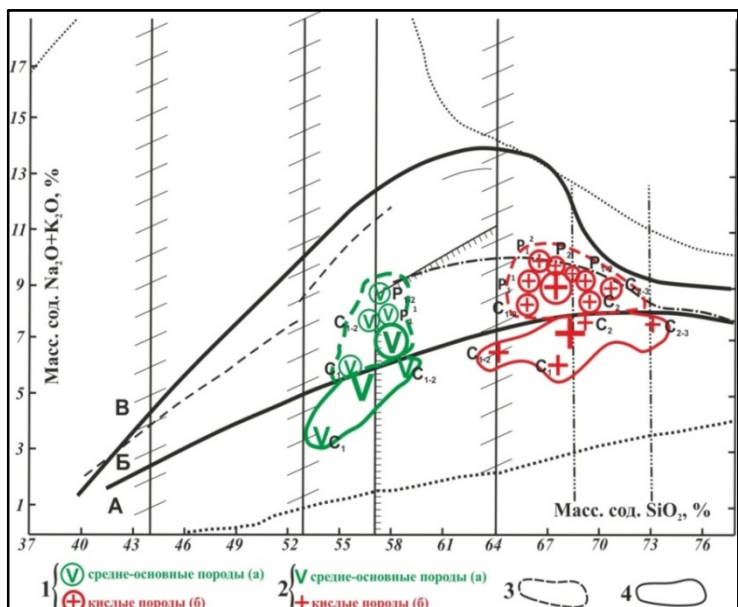


Рисунок 5 – Положение разновозрастных вулканитов позднепалеозойских вулканоплутонических поясов ЖБСС на классификационной диаграмме магматических горных пород в координатах SiO<sub>2</sub> – (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O) [31]

Figure 5 – The position of the different-age volcanics of the Late Paleozoic volcanic-plutonic belts of the FSS on the classification diagram of igneous rocks in the SiO<sub>2</sub> – (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O) coordinates [31]

Отмеченные факты свидетельствуют в пользу предполагаемых нами геотектонических обстановок возникновения позднепалеозойских ВПП: в первом случае – в зонах континентального склона и прибрежных затапливаемых окраин или островных дуг, где преобладает андезитовый вулканизм, а во втором – в зонах деструкции молодой континентальной коры, о чём свидетельствует явное преобладание кислого вулканизма в Балхаш-Илийском внутриконтинентальном ВПП.

Отмеченные особенности эволюции позднепалеозойских ВПП ЖБСС наиболее логично объясняются с позиции ритмично-длительного процесса эволюции единого плюма в тектоносфере Казахстана [1]. Возможно, что именно развиваемая в последние десятилетия плюмовая геодинамическая модель подтвердит мантийную природу давно выявленного Центрально Казахстанского гравитационного минимума.

Параллельно с эволюцией континентальных ВПП по всей территории Восточного блока земной коры Казахстана идет закрытие осадочных бассейнов (Саякского, Прииртышского и др.) [3-6, 17, 20 и др.].

В Зайсанской складчатой системе (ЗСС) замыкание морского бассейна происходит несколько позднее, чем в ЖБСС, и она имеет иное формационное выражение (таблицы 1, 2). Становление гранитно-метаморфического слоя приходится здесь в основном на начало среднего карбона, что знаменуется накоплением нижних моласс соответствующего возраста. Они отличаются преимущественно осадочным происхождением и слабым проявлением вулканизма. Континентальная стадия развития в ЗСС и в ЖБСС начинается близко во времени, почти одновременно. Существенно, что для последних этапов развития Зайсанской складчатой системы мощный вулканизм, столь типичный в Жонгаро-Балхашской провинции, не характерен. Зато здесь происходили гораздо более интенсивные горизонтальные тектонические движения, выразившиеся в неоднократном шарьировании и скучивании различных структурно-формационных комплексов. Это сопровождалось образованием разнообразных (вплоть до  $S_3$ ) олистростромовых толщ и привело в конце концов к резкому сближению краёв бывшей океанической плиты, остатки которой сохранились в основном лишь в Чарской зоне (сутуре) [4, 8, 15, 17, 37 и др.].

Итак, к концу палеозоя вся территория Казахстана окончательно вступает в континентальную стадию развития. Земная кора при этом характеризуется крайне неоднородным составом, что хорошо просматривается на всех геологических картах современного эрозионного среза.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Абдулин А.А., Паталаха Е.И. Геодинамика земной коры Казахстана. - Алма-Ата, 1980. - 176 с.
- [2] Азбель К.А., Сальменова К.З., Стратиграфия верхнего палеозоя Илийского района // Допалеозой и палеозой Казахстана. - Алма-Ата, 1974. - Т.2. - С. 172-177
- [3] Афоничев Н.А. Основные этапы развития Джунгаро-Балхашской геосинклинальной системы (статьи I и 2) // Сов. геология. 1967. № 3.
- [4] Беспалов В.Ф. Геологическое строение Казахской ССР. - Алма-Ата, 1971. - 382 с.
- [5] Беспалов В.Ф. Джунгаро-Балхашская геологическая провинция // Вопросы геологии Азии. - М. 1954. - Т.1. - С. 129-154.
- [6] Брахиоподы верхнего палеозоя Восточного Казахстана // Труды Палеонтологического института. Под ред. Т.Г. Сарычевой. - М., 1968. - Т. 121. - 282 с.
- [7] Власов В.И., Рошин И.Н. Палеозойские угленосные формации Казахстана // Н.Г. Кассин и современная геология Казахстана. Изд-во «Наука» Каз ССР. - А-Ата, 1988. - С. 138-146.
- [8] Геологическая карта Казахской ССР. Масштаб 1:500000. Серия Восточно-Казахстанская. Объяснительная записка. - Алма-Ата. 1979. 182 с.
- [9] Геологическая карта Казахской ССР. Масштаб 1:500000. Серия Центрально-Казахстанская. Объяснительная записка. - Алма-Ата. 1981. 324 с.
- [10] Геологическая карта Казахской ССР. Масштаб 1:500000. Серия Южно-Казахстанская. Объяснительная записка. - Алма-Ата. 1981. 248 с.
- [11] Геологическая карта Казахской ССР. Масштаб 1:500000. Серия Тургайско-Мугоджарская. Объяснительная записка. - Алма-Ата. 1981. 227 с.
- [12] Думлер Л.Ф., Габай Н.Л., Бекман В.М., Серых В.И. и др. Роль Н.Г. Кассина в развитии современных представлений о геологии и полезных ископаемых Центрального Казахстана // Н.Г. Кассин и современная геология Казахстана. Изд-во «Наука» Каз ССР. - А-Ата, 1988. - С. 124-138.
- [13] Жаймина В.Я. Биостратиграфия и фароминиферы морских среднекаменноугольных отложений Джунгаро-Балхашской складчатой области // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геол.-мин. наук. Новосибирск, 1991 г. 20 с.



- [14] Жаймина В.Я. Фораминиферы, фации и палеогеография башкирско-раннемосковского Джунгаро-Балхашского морского бассейна. Геология Казахстана. №1. Алматы, 2002. С. 51-60.
- [15] Зоненшайн Л.П. Движение литосферных плит и формирование складчатых поясов // Динамика и эволюция литосферы. - М., 1986. - С. 16-32.
- [16] Кошкин В.Я. Тектоническое положение Балхаш-Илийского герцинского вулканического пояса // Тектоника. Урало-Монг. складчатого пояса. - М.: 1974. - С. 86-92.
- [17] Кумпан А.С. Верхний палеозой Восточного Казахстана. - Л.: 1966. - 247 с.
- [18] Ляпичев Г.Ф. Эволюция земной коры и тектоническое районирование // Металлогения Казахстана. Типы структурно-формационных комплексов и тектоническое районирование палеозой. - А-Ата. 1977. - С. 164-182.
- [19] Ляпичев Г.Ф., Сейтмуратова Э.Ю., Старов В.И. и др. Некоторые вопросы изотопной геохронологии магматических комплексов Казахстана // Магматизм и рудоносность Казахстана. - Алма-Ата: 1991.
- [20] Марфенкова М.М. Морской карбон Казахстана (стратиграфия, зональное расчленение, фораминиферы). Ч. 1. и 2. - Алма-Ата: 1991.
- [21] Моссаковский А.А. Орогенные структуры и вулканизм палеозой Евразии и их место в процессе формирования континентальной земной коры / Гл. ред. А.В. Пейве, отв.ред. Н.А. Штрейс. - М., 1975. - 294 с.
- [22] Пейве А.В., Книппер А.Л., Марков М.С. и др. Закономерности формирования континентальной коры в фанерозе (к проблеме тектонического районирования материков) // Докл. 27 Межд. Геол. конгресса. Тектоника. - 1984. - Т. 7. - С. 3-9.
- [23] Радченко М.И. Палеофитологическое обоснование стратиграфии карбона Казахстана / Изв. АН Каз ССР, серия геолог., №4. - 1959. - С. 3-7
- [24] Сейтмуратова Э.Ю., Гоганова Л.А., Ляпичев Г.Ф., Сайдашева Ф.Ф., Радченко М.И. Итоги геологических и биостратиграфических исследований позднепалеозойских отложений Балхашского сегмента земной коры Казахстана // Геология Казахстана. - Алматы: 1997, №5. - С. 33-56
- [25] Сейтмуратова Э.Ю. Позднепалеозойские вулканогенные и вулканогенно-осадочные формации Жонгаро-Балхашской складчатой области (стратиграфия, геолого-петрологические особенности). - Алматы, 2002. - 254 с.
- [26] Сейтмуратова Э.Ю., Никитин И.Ф., Палец Л.М., Гоганова Л. А. В развитие представлений о геологической истории Акшатау-Коунрадского рудного района (Северное Прибалхашье) // Геология и разведка недр Казахстана. - №2, 2001. - С. 9-22.
- [27] Сейтмуратова Э.Ю., Гоганова Л.А., Ляпичев Г.Ф., Жаймина В.Я. и др. Стратиграфия и условия формирования каменноугольных и пермских отложений Казахстана // Геология Казахстана. - Алматы, 2002, №2. - С. 13-35.
- [28] Э.Ю. Сейтмуратова, Л.А. Гоганова, Ф.Ф. Сайдашева, А.М. Глухов, Ш.А. Жакупова, Л.П. Парфенова. К выделению региональных стратиграфических подразделений - горизонтов в континентальных вулканогенных и вулканогенно-осадочных отложениях карбона и перми Казахстана // Известия. Серия геологическая, №6. Алматы, 2009. С. 4-13.
- [29] Э.Ю. Сейтмуратова, Л.А. Гоганова, Ф.Ф. Сайдашева, Ш.А. Жакупова, Л.П. Парфенова, Р.Т. Баратов, Бакдаuletкызы С. Геолого-петрологические особенности вулканогенно-осадочных отложений поздневице - раннесерпуховского возраста Жонгаро-Балхашского региона // Материалы международной научно-практической конференции «Сатпаевские чтения», посвященной 20-летию независимости республики Казахстан, 14-15 апреля. Алматы, 2011 г. с. 61-69.
- [30] Э.Ю. Сейтмуратова, Л.А. Гоганова, Ф.Ф. Сайдашева. Опорные разрезы континентальных вулканогенных отложений перми Центрального и Южного Казахстана // Пермская система: Стратиграфия, палеонтология, палеогеография, геодинамика и минеральные ресурсы «Международная конференция посвященная 170-летию со дня открытия пермской системы», 5-8 сентября 2011 г.
- [31] Сейтмуратова Э.Ю. Поздний палеозой Жонгаро-Балхашской складчатой области (Казахстан) - Алматы, 2011. - 278 с.
- [32] Э.Ю. Сейтмуратова, Л.А. Гоганова, Ф.Ф. Сайдашева, Ш.А. Жакупова, Л.П. Парфенова, Р.Т. Баратов. К доизучению стратиграфии и биостратиграфии континентальных отложений перми Казахстана // Материалы международной научно-практической конференции «Сатпаевские чтения». Алматы, 2012. С. 102-108.
- [33] Сейтмуратова Э.Ю., Гоганова Л.А., Ляпичев Г.Ф. Карбон и пермь завершающий этап становления континентальной коры Казахстана // Межд. Конф. 75 лет ИГН им. К.И. Сатпаева «Геология, минерагения и перспективы развития минерально сырьевых ресурсов республики Казахстан и стран СНГ». Алматы, 2015. С. 162-174.
- [34] Сеницын В.М. Палеогеография Азии. - М.-Л.: 1962.
- [35] Стратиграфия СССР. Каменноугольная система. Главный редактор Д.В. Наливкин, - М.: «Недра», 1970. - 356 с.
- [36] Стратиграфия СССР. Пермская система / Главный редактор Д.В. Наливкин, - М.: «Недра», 1966. - 536 с.
- [37] Ужкенов Б.С., Мазуров А.К., Быкадоров В.А., Смирнов А.В., Федоренко О.А. Палеогеография и геодинамика Казахстана и сопредельных территорий // Геонауки в Казахстане: (Доклады казахстанских геологов). - Алматы: Казахстанское геологическое общество «КазГЕО», 2004. - С.39-54.
- [38] Seitmuratova E.Y., Goganova L.A., Lyapichev G.F., Radchenko M.I., Marfenkova M.M., etc. Stratigraphy of the Carboniferous and Permian of Kazakhstan. Proceedings of the XIII International congress on the Carboniferous and Permian/ Warszawa: 1997

## REFERENCES

- [1] Abdulin A.A., Patalaha E.I. Geodinamikazemnoj kory Kazahstana. - Alma-Ata, 1980. - 176 s.
- [2] Azbel' K.A., Sal'menova K.Z., Stratigrafijaverhnegopaleozojallijiskogorajona // DopaleozojipaleozojKazahstana. - Alma-Ata, 1974. - T.2. - S. 172-177

- [3] Afonichev N.A. OsnovnyjetapyrazvitiijaDzhungaro-Balhashskojgeosinklinal'nojsistemy (stat'i I. i 2) // Sov. geologija. 1967. № 3.
- [4] Bespalov V.F. GeologicheskoeostroenieKazahskoj SSR. - Alma-Ata, 1971. - 382 s.
- [5] Bespalov V.F. Dzhungaro-Balhashskajageologicheskajaprovincija // VoprosygeologiiAzii. - M. 1954. - T.1. - S. 129-154.
- [6] BrahiopodyverhnegopaleozojaVostochnogoKazahstana//Trudy Paleontologicheskogoinstituta. Pod red. T.G. Sarychevoj. - M., 1968. - T. 121. - 282 s.
- [7] Vlasov V.I., Roshhin I.N. Paleozojskieu glenosnye formacii Kazahstana // N.G. Kassini sovremennaja geologija Kazahstana. Izd-vo «Nauka» Kaz SSR. - A-Ata, 1988. - S. 138-146.
- [8] Geologicheskaja karta Kazahskoj SSR. Masshtab 1:500000. SerijaVostochno-Kazahstanskaja. Ob#jasnitel'najazapiska. - Alma-Ata. 1979. 182 s.
- [9] Geologicheskaja karta Kazahskoj SSR. Masshtab 1:500000. SerijaCentral'no-Kazahstanskaja. Ob#jasnitel'najazapiska. - Alma-Ata. 1981. 324 s.
- [10] GeologicheskajakartaKazahskoj SSR. Masshtab 1:500000. SerijaJuzhno-Kazahstanskaja. Ob#jasnitel'naja zapiska. - Alma-Ata. 1981. 248 s.
- [11] GeologicheskajakartaKazahskoj SSR. Masshtab 1:500000. SerijaTurgajsko-Mugodzharskaja. Ob#jasnitel'naja zapiska. -Alma-Ata. 1981. 227 s.
- [12] 11 a. GeologicheskoeostroenieKazahstana / Pojasnitel'najazapiska k karte m-ba 1:1 000 000. Avtory: Bekzhanov G.R., Nikitchenko I.I., KoshkinV.Ja. i dr. – Almaty, 2000 – 396 s.
- [13]JaiminaV.Ya. Biostratigrafiyai farominiferimorskihsrednekamenougolnihotlojenii Djungaro\_Balhashskoi skladchatoi oblasti // Avtoreferatdissertaciiinasoiskanieuchenostepenikandidatageol.\_min. nauk. Novosibirsk\_1991 g. 20 s.
- [14]JaiminaV.Ya. Foraminiferi\_ faciiipaleogeografiyabashkirsko\_rannemoskovskogo Djungaro\_Balhashskogo morskogo basseina.GeologiyaKazahstana. №1. Almaty\_2002.S. 51\_60.
- [15]DumlerL.F., GabajN.L., BekmanV.M., SeryhV.I. idr. Rol' N.G. Kassinavrazvitiisovremennyhpredstavlenijogeologii i poleznyh iskopaemyh Central'nogoKazahstana // N.G. KassinisovremennajageologijaKazahstana. Izd-vo «Nauka» KazSSR. - A-Ata, 1988. - S. 124-138.
- [16] Zonenshajnl.P. Dvizhenie litosfernyh plitiformirovanieskladchatyhpojasov // Dinamika i jevoljucija litosfery. - M.: 1986. - S. 16-32.
- [17] KoshkinV.Ja. TektonicheskoeopolozhenieBalhash-Ilijskogogercinskogovulkanicheskogopojasa // Tektonika. Uralo-Mong. skladchatogopojasa. - M.: 1974. - S. 86-92.
- [18] Kumpan A.S. VerhnijpaleozojVostochnogoKazahstana. - L.: 1966. - 247 s.
- [19] Ljapichev G.F. Jevoljucijazemnojkorjitektonicheskoeorajonirovanie // MetallogenijaKazahstana. Tipystrukturoformacionnyhkompleksovitektonicheskoeorajonirovaniepaleozoid. - A-Ata. 1977. - S. 164-182.
- [20] Ljapichev G.F., SejtmuratovaJe.Ju., Starov V.I. idr. Nekotoryevoprosyizotopnojgeohronologii magmaticeskikh kompleksov Kazahstana // Magmatizmirudonosnost' Kazahstana. - Alma-Ata: 1991.
- [21] Marfenkova M.M. MorskojkarbonKazahstana (stratigrafija, zonal'noeras-chlenenie, foraminifery). Ch. 1. i 2. - Alma-Ata: 1991.
- [22] Mossakovskij A.A. OrogennyestrukturyivulkanizmpaleozoidEvraziimesto v processe formirovanija kontinental'noj zemnoj kory / Gl. red. A.V. Pejve, otv. red. N.A. Shtrejs. - M., 1975. - 294 s.
- [23] Pejve A.V., Knipper A.L., Markov M.S. idr. Zakonomernostiformirovanijakontinental'nojkorj v fanerozoe (k problemetektonicheskogorajonirovanijamaterikov) // Dokl. 27 Mezhd.Geol. kongressa.Tektonika. - 1984. - T. 7. - S. 3-9.
- [24] Radchenko M.I. PaleofitologicheskoeobosnovaniestratografiikarbonaKazahstana / Izv. AN Kaz SSR, serijageolog., №4. - 1959. - S. 3-7
- [25] SejtmuratovaJe.Ju., Goganova L.A., Ljapichev G.F., Sajdasheva F.F., Radchenko M.I. Itogigeologicheskikh i biostratigraficheskikh issledovanij pozdnepaleozojskikh otlozhenij Balhashskogo segmentazemnoj kory Kazahstana // Geologija Kazahstana. - Almaty: 1997, №5. - S. 33-56
- [26] SejtmuratovaJe.Ju. Pozdnepaleozojskievulkanogennyevulkanogenno-osadochnyiformaciiZhongaro-Balhashskoj skladchatoi oblasti (stratigrafija, geologo-petrologicheskiesobennosti). – Almaty, 2002. - 254 s.
- [27] SejtmuratovaJe.Ju., Nikitin I.F., Palec L.M., Goganova L. A. V razvitiipredstavlenij o geologicheskoiistoriiAkshatau-Kounradskogorudnogorajona (SevernoePribalhash'e) // GeologijairazvedkanedrKazahstana. - №2, 2001. - S. 9-22.
- [28] E.Yu. Seitmuratova\_L.A.Goganova\_F.F.Saidasheva\_A.M.Gluhov\_Sh.A.Jakupova\_L.P.Parfenova. K videleniyu regionalnih stratigraficheskikhpodrazdelenij\_gorizontov v kontinentalnih vulkanogennih i vulkanogenno\_osadochnih otlozheniyah karbona i permi Kazahstana // Izvestiya. Seriyageologicheskaya\_№6
- [29] E.Yu. Seitmuratova\_L.A.Goganova\_F.F.Saidasheva\_Sh.A.Jakupova\_L.P.Parfenova\_R.T.Baratov\_Bakdaulet\_kizi S. Geologo\_petrologicheskiesobennostivulkanogenno\_osadochnihotlojeniiipozdnevize \_ ranneserpuhovskogo vozrasta Jongaro\_Balhashskogo regiona// Materialimejdunarodnoinauchno\_prakticheskoi konferencii «Satpaevskiechteniya»\_ posvyaschennoi 20\_letiyu nezavisimostirespublikiKazahstan\_14\_15 aprelya. Almaty\_2011 g\_ s. 61\_69.
- [30] E.Yu. Seitmuratova\_L.A.Goganova\_F.F.Saidasheva. Opornierazrezikontinentalnihvulkanogennihotlojeniiipermi Centralnogoi Yujnogo Kazahstana // Permskayasistema\_Stratigrafija\_paleontologiya\_paleogeografiya\_geodinamika imineralnieresursi «Mejdunarodnayakonferenciya posvyaschennaya 170\_letiyuso dnyaotkritiyapermskoisistemi»\_5\_8 sentyabrya 2011 g.
- [31] SejtmuratovaJe.Ju., Goganova L.A., Ljapichev G.F., ZhajminaV.Ja. i dr. Stratigrafijai uslovija formirovanija kamennou gol'nyhipermiskihotlozhenijKazahstana // GeologijaKazahstana. - Almaty, 2002, №2. - S. 13-35.
- [32] E.Yu. Seitmuratova\_L.A.Goganova\_F.F.Saidasheva\_Sh.A.Jakupova\_L.P.Parfenova\_R.T.Baratov. K doizucheniyustratografiibiostratigrafiiikontinental\_nihotlojeniiipermiKazahstana// Materialimejdunarodnoinauchno\_prakticheskoi konferencii «Satpaevskiechteniya». Almaty\_2012.S.102\_108.

[33] Seitmuratova E.Yu., Goganova L.A., Lyapichev G.F. Karboni perm zaverschayuschii etap stanovleniya kontinentalnoi korikazhstana // Mejd. Konf. 75 let IGN im. K.I. Satpaeva «Geologiya, minerageniya i perspektivi razvitiya mineralnosirevnyh resursov respubliky Kazahstan i stran SNG». Almaty, 2015. S. 162-174

[34] Seitmuratova Je. Ju. Pozdniy paleozoj Zhongaro-Balhashskojskladchatojoblasti (Kazahstan) - Almaty, 2011. - 278 s.

[35] Sinicyn V.M. Paleogeografiya Azii. - M.-L.: 1962.

[36] Stratigrafiya SSSR. Kamennougol'najasistema. Glavnyy redaktor D.V. Nalivkin, - M.: «Nedra», 1970. - 356 s.

[37] Uzhkenov B.S., Mazurov A.K., Bykadorov V.A., Smirnov A.V., Fedorenko O.A. Paleogeografiya i geodinamika Kazahstanaisopredel'nyhterritorij // Geonauki v Kazahstane: (Doklady kazhstanskikh geologov). - Almaty: Kazhstanskoe geologicheskoe obshchestvo «KazGEO», 2004. - S.39-54.

[38] Seitmuratova E.Y., Goganova L.A., Lyapichev G.F., Radchenko M.I., Marfenkova M.M., etc. Stratigraphy of the Carboniferous and Permian of Kazakhstan. Proceedings of the XIII International congress on the Carboniferous and Permian/Warshawa: 1997

**Э. Ю. Сейтмуратова, Л. А. Гоганова, Г. Ф. Ляпичев, М. М. Марфенкова, В. Я. Жаймина, Ф. Ф. Сайдашева, Р. Т. Баратов, Д. О. Даутбеков**

Қ. И. Сәтбаев атындағы геологиялық ғылымдар институты, Алматы, Қазақстан

### **ТАС КӨМІРЖӘНЕ ПЕРМЬ – ҚАЗАҚСТАН КОНТИНЕНТАЛДЫ ҚЫРТЫСЫ ҚҰРАЛУЫН ТӘМІМДАЙТЫН ЭТАП**

**Аннотация.** Қазақстан жер қыртысы жаралуы этапын қорытындылайтын және Металлогениялық аспектіде ең маңызды – тас көмір және пермь уақыты үшін – Қазақстан кеш палеозойлық шөгінделерін соңғы 25-30 жыл арасында қайта зерттеу нәтижелері көрсетіледі. Айтылған нәтижелер геологиялық қоғамға аз таныс кеш палеозой уақыты үшін келесі сұлбаларда бейнеленген: «Қазақстан тас көмір және пермь вертикалды және латералды формациялары сұлбасында»; «Қазақстан тас-көмірлік-пермдік шөгінділерінің седиментациясының палеогеографиялық жағдайларын және палеонтологиялық сипатталынуы сұлбасында»; «Қазақстан тас көмірлік – пермдік шөгінділерінің тарауының жинақталынған сұлбасында». Сұлбалар алғашқы рет 1995 жылы ХІІІ-ші Халықаралық «Әлем карбон және пермі» (Краков қаласы, Польша) конгресінде көрсетілген. Бұл сұлбалар базасында жаңа қосымша мәліметтермен Қазақстан жер қыртысының тас көмірлік – пермдік уақыты үшін аса гетерогенді құрамын шарттайтын – кеш палеозойлық заттық кешендері және әр түрлі жасты палеогеографиялық және палеотектоникалық жағдайлары қысқаша сипатталынған. Мақалада Қазақстан Жоңғар-Балхаш қатпарлы белдеуі қиын даталынатын континенталды жанартаулық және жанартаулы-шөгінді кеш палеозойлық белдемдер шөгінділері айтарлықтай толық сипатталынған.

**Түйін сөздер:** таскөмір, пермь, сұлбалар, стратиграфия, заттық кешендер, палеогеографиялық және палеотектоникалық жағдайлар.

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 4, Number 424 (2017), 20 – 34

**V. Ya. Zhaimina**

Institute of Geological Sciences named after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan

## STRATIGRAPHICAL LEVELS AND ORE MINERALIZATION OF THE KARAMURUN (SOUTHERN KAZAKHSTAN)

**Abstract.** The article describes two ore stratigraphical levels of the Karamurun. The first is early Famennian, confined to the rocks of the upper pack of the Karamurun formation and is represented by quartz-albite metasomatites. The main ore mineral is pyrite, chalcopyrite, native gold, hematite, goethite, rutile, leucosene, sphene, etc. are present. The zones of abundant pyritization are associated with increased gold contents, and in the spectral samples higher contents of yttrium, lanthanum, cerium, ytterbium are found. The second - the late Famennian-early Tournaisian stratum is fixed in the siliceous-carbonaceous-shale deposits of the upper subformation of the Shalkiya formation. The main concentrator of gold is pyrite, which occurs in the form of a layered fine syngenetic dissemination. Secondary haloes of gold are accompanied by increased contents of silver, lead and arsenic. Age-related stratigraphical level was carried out on algae and foraminifera.

**Keywords.** Stratigraphical levels, Karamurun, formation, Famennian, Tournaisian, metasomatites, siliceous-carbonaceous-shale deposits, algae, foraminifera, pyrite, gold, silver.

УДК 551.734.5

**В. Я. Жаймина**

Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

## СТРАТОУРОВНИ И РУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ КАРАМУРУНА (ЮЖНЫЙ КАЗАХСТАН)

**Аннотация.** Приводится описание двух рудных стратоуровней Карамурунского района. Первый – раннефаменский, приурочен к породам верхней пачки карамурунской свиты и представлен кварц-альбитовыми метасоматитами. Основным рудным минералом является пирит, присутствуют халькопирит, самородное золото, гематит, гетит, рутил, лейкоксен, сфен и др. С зонами обильной пиритизации связаны повышенные содержания золота, в спектральных пробах обнаружены повышенные содержания иттрия, лантана, церия, иттербия. Второй – позднефаменско-раннетурнейский стратоуровень фиксируется в кремнисто-углеродисто-сланцевых отложениях верхней подсвиты шалкиинской свиты. Основным концентратором золота является пирит, который встречается в виде послонной тонкой сингенетичной вкрапленности. Вторичные ореолы золота сопровождаются повышенными содержаниями серебра, свинца и мышьяка. Возрастная привязка стратоуровней осуществлялась по водорослям и фораминиферам.

**Ключевые слова:** стратоуровни, Карамурун, свита, фамен, турне, метасоматиты, кремнисто-углеродисто-сланцевые отложения, водоросли, фораминиферы, пирит, золото, серебро.

**Введение.** Приводится описание двух рудных стратоуровней Карамурунского района. Первый – раннефаменский, приурочен к породам верхней пачки карамурунской свиты и представлен кварц-альбитовыми метасоматитами. Второй – позднефаменско-раннетурнейский стратоуровень фиксируется в кремнисто-углеродисто-сланцевых отложениях верхней подсвиты шалкиинской свиты.

Металлоносные кремнисто-углеродисто-сланцевые комплексы формируются преимущественно в глубоководных обстановках внутриконтинентальных, окраинно-континентальных, океанических рифтов и являются результатом активной гидротермальной деятельности в районах с повышенной вулканической активностью. Металлоносность этих комплексов теснейшим образом связана с эволюцией органического вещества, обладающего огромной биогеохимической рудообразующей энергией. Учитывая важнейшую геохимическую роль этого вещества в формировании месторождений, необходимо фиксировать в разновозрастных осадочных толщах горизонты с аномальным содержанием органического углерода для целей выявления и прогнозирования новых генетических типов и видов минерального сырья в углеродистых отложениях и черносланцевых формациях.

По данным Л.Г. Марченко [8] и целого ряда других авторов (Константинов, 1982; Нарсеев и др., 1989; Сорокин, 1993; Сафонов, 1997; Новожилов, Гаврилов, 1999; Некрасов, 2000; Буряк и др., 2002; Петровская, 1967; Schwarts, 1944; Boyle, 1979; Иванюк, 1984; Иванкин и др., 1985; Марченко и др., 1985), месторождения, приуроченные к черносланцевым толщам верхнепротерозойских или палеозойских кремнисто-углеродисто-сланцевых-комплексов, выделяются в отдельный генетический тип [1-6]. Содержание сульфидов, среди которых важную роль играют золотоносный пирит и арсенопирит, обычно 3–7%. Наиболее известные месторождения этого типа – Олимпиада, Нежданинское, Наталкинское, Майское, Советское в России; Мурунтау, Кокпатас, Зармитан, Даугызтау, Амантайтау в Узбекистане; Бакырчик в Казахстане [2]; Чоре в Таджикистане; Кумтор в Киргизстане; Мазер Лод в США; Бендиго, Олимпик Дэм в Австралии. Рудные тела обычно представлены пластообразными или жильными зонами среди терригенных пород. Одной из особенностей месторождений «черносланцевого» типа является проявление углеродистого метасоматоза. Наиболее продуктивной для этих месторождений является ранняя золото-сульфидная ассоциация. Характерны наиболее высокие содержания "упорного" золота, связанного с сульфидами (более 50%) и значительное преобладание золота над серебром (в 2–4 раза). Золото в сульфидах является достаточно высокопробным. Его средние содержания в рудах от 3 до 15 г/т. Как правило, руды имеют комплексный характер; наряду с золотом, промышленный интерес представляют сурьма, вольфрам, реже – серебро и мышьяк.

Месторождения с рассеяно-вкрапленной золоторудной минерализацией (чаще золото в сульфидах) локализуются в измененных, существенно карбонатных породах. К ним в штате Невада (США) относятся: Карлин, Бетце-Пост, Кортес (Пайплайн), Твин Крикс, Мейкл и др. [13], Воронцовское золоторудное на Урале [14] и др., а также ряд месторождений золота в Казахстане [5]. Все они являются месторождениями карлинского типа. Наблюдается пространственно-временная связь золотой минерализации с магматизмом и образовании месторождений в результате циркуляции глубинных флюидов, метеорных вод и их смешивания.

В Каратауском регионе Акжар-Карамурунский рудный район охватывает область северо-западного погружения палеозойских структур Большого Каратау под чехол мезозой-кайнозойских отложений Туркестанского трога (рисунк 1).

На Карамурунском золоторудном поле известны месторождение Центральный Карамурун и проявление Южный Карамурун, связанные с зонами кварц-карбонат-альбитовых метасоматитов в породах верхней пачки карамурунской свиты. Углеродисто-карбонатные разности пород способствовали формированию геохимических барьеров для рудоносных флюидов.

Основными гипогенными компонентами руд являются пирит, халькопирит, гематит, самородное золото. Постоянно отмечаются титаномagnetит, ильменит и продукты их гипогенного распада и замещения: мартит (гематит I), magnetит, рутил, сфен, лейкоксен. Изредка наблюдаются выделения галенита, ассоциирующего с халькопиритом. Из гипергенных минералов максимальным развитием пользуются гидроокислы железа (гетит, лепидокрокит и "лимонит", представляющий собой смесь аморфных и скрытокристаллических разностей гетита, лепидокрокита, гидрогетита и др.).



Часто, но в небольшом количестве, наблюдаются выделения высокопробного гипергенного золота. Отмечаются примазки, сажистые агрегаты, дендриты гидрооксидов марганца (вад, псиломелан), концентрирующиеся по трещинам и стенкам пустот выщелачивания. Изредка присутствуют микронные выделения халькозина и ковеллина, развивающиеся по халькопириту. Содержания золота неравномерные, повышенные коррелируются с зонами пиритизации, в рудных телах колеблются от 0,1 до 2,61 г/т, в отдельных пробах до 20,5 г/т. Обнаружены повышенные содержания золота, достигающие 50–60 г/т, связанные с зонами обильной пиритизации. В рудных телах содержания золота 0,1–10,0 до 31,8 г/т (Онищенко В.Я., 1971 г.).

Спектральным анализом в золотосодержащих породах установлены повышенные содержания иттрия (до 0,1%), лантана (до 0,5 %), церия (до 0,5 %), иттербия (до 0,01 %). Отмечается прямая корреляционная зависимость содержаний золота и редких земель, подтверждающая вероятную связь золотого оруденения и с гранитоидным магматизмом. По Л. А. Мирошниченко [6,7] рудно-метасоматический процесс связан с послемагматическими растворами щелочно-пироксенит-сиенитовых интрузий ирисуйского комплекса, обогащенных редкими землями и проявился до внедрения шонкинитовых даек акуюкского комплекса, секущих различные по составу метасоматиты и рудные образования.

Ниже приводятся фотографии образцов метасоматитов из карамурунской свиты (рисунки 2–5).



Рисунок 2 – Образец 21.  
Кварц-альбитовый метасоматит с пиритом.  
Карамурунская свита (x1,4)

Figure 2 – Sample 21.  
Quartz-albite metasomate with pyrite.  
The Karamurun formation (x1,4)



Рисунок 3 – Образец 22. Брекчия, обломки кварц-альбитовых метасоматитов с пиритом сцементированы лимонитом.  
Карамурунская свита (x1,4)

Figure 3 – Sample 22. Breccias, fragments of quartz-albite metasomatites with pyrite are cemented with limonite.  
The Karamurun formation (x1,4)



Рисунок 4 – Образец 23. Брекчия железненная с включениями рудных минералов. Карамурунская свита (x2,1)

Figure 4 – Sample 23. Breccia ferriferous with inclusions of ore minerals. The Karamurun formation (x2, 1)



Рисунок 5 – Образец 25. Брекчия железненная с прожилками и включениями рудных минералов. Карамурунская свита (x1,8)

Figure 5 – Sample 25. Breccia ferruginous with veins and inclusions of ore minerals. The Karamurun formation (x1, 8)



Ниже приводятся фотографии аншлифов (рисунки 6–8).



Рисунок 6 – Брекчия ожелезненная с включениями рудного минерала. Карамурунская свита. Аншлиф, образец № 21, натуральная величина

Figure 6 – Breccia ferruginous with inclusions of ore mineral. The Karamurun formation. Anshlif, sample No. 21, natural size



Рисунок 7– Брекчия ожелезненная с включениями рудного минерала. Карамурунская свита. Аншлиф, образец № 22, натуральная величина

Figure 7– Breccia ferruginous with inclusions of ore mineral. The Karamurun formation. Anshlif, sample No. 22, natural size



Рисунок 8 – Брекчия ожелезненная с включениями рудного минерала. Карамурунская свита.  
Аншлиф, образец № 25, натуральная величина

Figure 8 – Breccia ferruginous with inclusions of ore mineral. The Karamurun formation. Anshlif, sample No. 25, natural size

Ниже приводятся фотографии аншлифов с прожилками и мелкими зернами золота (рисунки 9–11).

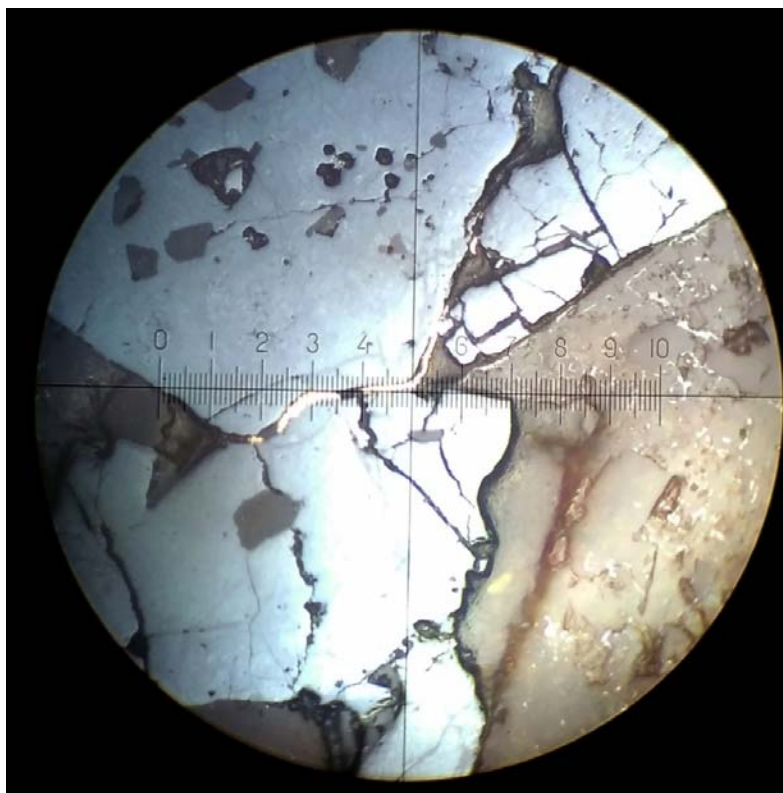


Рисунок 9 – Зерно пирита замещается гидроксидами Fe (лимонит, гидрогетит, гетит).  
В центре прожилков Au (белый цвет). Аншлиф 22, X 39

Figure 9 – The grain of pyrite is replaced by hydroxides of Fe (limonite, hydrogoetite, goethite).  
In the center of the veins Au (white color). Anshlif 22, X 39

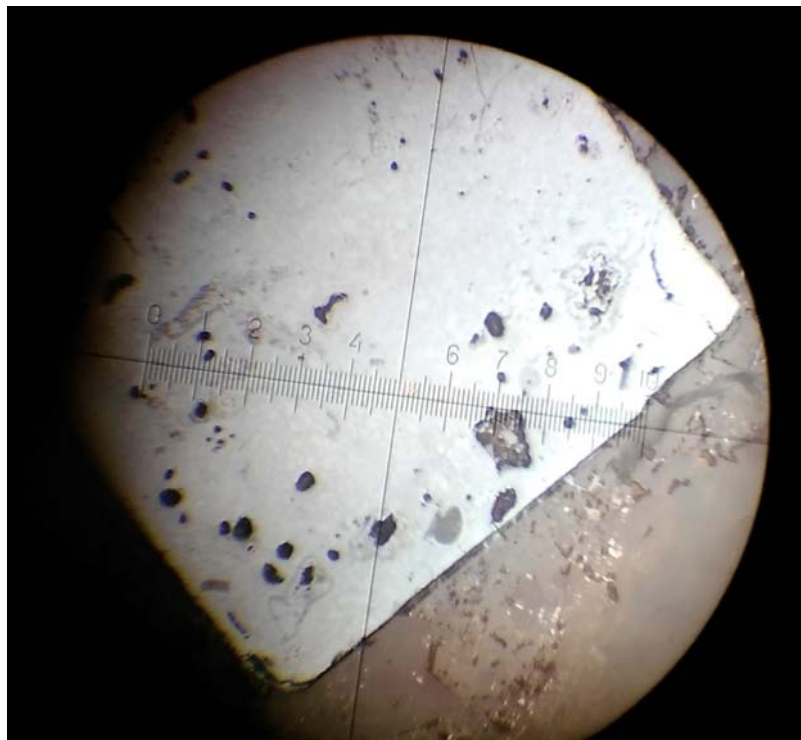


Рисунок 10 – Зерно пирита замещается гидроксидами Fe (лимонит, гидрогетит, гетит). Аншлиф 22, X 39  
Figure 10 – The grain of pyrite is replaced by hydroxides of Fe (limonite, hydrogoetite, goethite). Anshlif 22, X 39

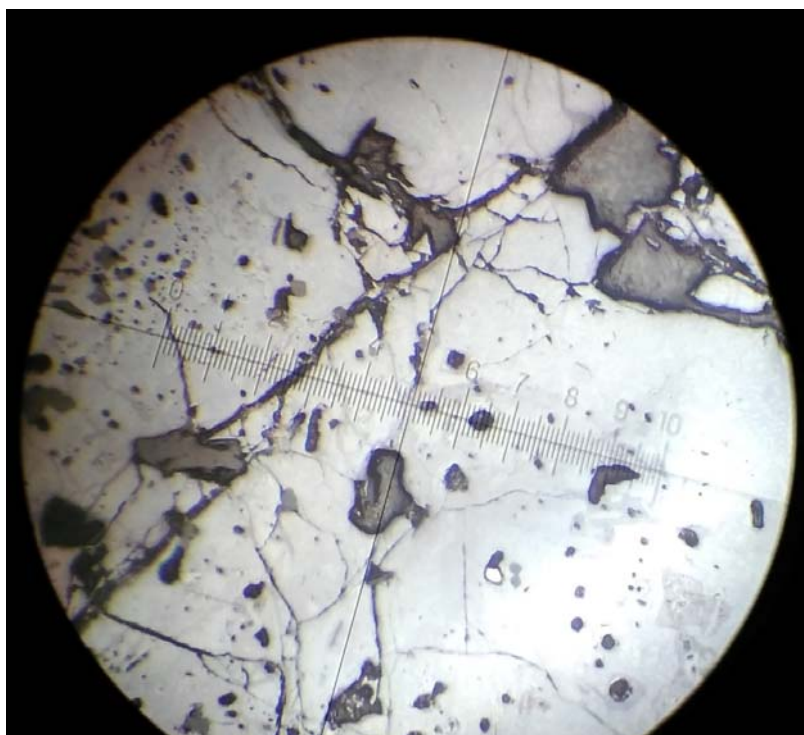


Рисунок 11 – Зерно пирита замещается гидроксидами Fe (лимонит, гидрогетит, гетит).  
В нижнем правом квадранте мелкое зерно Au (белый цвет). Аншлиф 22, X 39  
Figure 11 – The grain of pyrite is replaced by hydroxides of Fe (limonite, hydrogoetite, goethite).  
In the lower right quadrant, fine grains of Au (white color). Anshlif 22, X 39

В шлифах описана кварц-альбитовая порода с многочисленными включениями рудного минерала различной формы и размеров. Встречаются кристаллы правильной ромбической и квадратной формы. Скопления рудного минерала неправильной формы часто замещают водоросли. Присутствуют реликты водорослей перекристаллизованные и очень плохой сохранности треугольной формы (*Menselina* sp.) и округлые *Solenoporaceae* (*Solenopora* sp.) Редко встречаются *Schuguria*. Определены водоросли *Schuguria* cf. *flabelliformis lata* Tchuwashov, *Solenopora* cf. *koltubanensis* Tchuwashov, *Sertulella* aff. *bellata* Shuysky et Schirschova, *Conglutinella* sp. и другие, которые встречаются в верхнем девоне, во фране и низах фамена (D<sub>3</sub>) различных регионов [8].

В пределах Карамурунской синклинали также установлена золотоносность. Тектонический блок в зоне северного ответвления Туркестанского разлома сложен терригенно-карбонатными отложениями шалкиинской свиты фаменского возраста. Они прорваны дайками лампрофиров акуюкского, кварцевыми сиенитами ирисуйского и аплитами кызылдыханского интрузивных комплексов. Породы шалкиинской свиты интенсивно метаморфизованы и катаклазированы.

Сфотографированы образцы, отобранные при полевых работах на участке Карамурун (в 2015 г.) из кремнисто-углеродисто-сланцевых отложений шалкиинской свиты и смонтированы фототаблицы, которые приводятся ниже (рисунки 12–20).



Рисунок 12 – Образец 5-1. Слоистая кремнистая порода, ожезненная, с реликтами органики. Шалкиинская свита (x1,5)

Figure 12 – Sample 5-1. Layered flinty rock, ferruginous, with relics of organic matter. Shalkiya formation (x1,5)



Рисунок 13 – Образец 1а. Углисто-кремнистая порода с реликтами органики. Шалкиинская свита (x2,5)

Figure 13 – Sample 1a. Carbonaceous-siliceous rock with relics of organic matter. Shalkiya formation (x2,5)



Рисунок 14 – Образец 2а. Углисто-кремнистая порода с прожилками кальцита и мелкими полостями выщелачивания. Шалкиинская свита (x2)

Figure 14 – Sample 2a. Carbonaceous -siliceous rock with veins of calcite and small cavities of leaching. Shalkiya formation (x2)



Рисунок 15 – Образец 8. Углисто-кремнистая порода пористая ожезненная. Шалкиинская свита (x1,5)

Figure 15 – Sample 8. Carbonaceous -siliceous rock porous ferruginous. Shalkiya formation (x1,5)



Рисунок 16 – Образец 10. Углисто-кремнистая порода ожезненная с реликтами водорослей. Шалкиинская свита (x2,2)

Figure 16 – Sample 10. Carbonaceous -siliceous ferruginous rock with relics algae. Shalkiya formation (x2,2)



Рисунок 17 – Образец 12.  
Известняк пористый кремненый.  
Шалкиинская свита (x2,3)

Figure 17 – Sample 12. Limestone porous silicified.  
Shalkiya formation (x2, 3)



Рисунок 18 – Образец 14. Брекчия, обломки кварца  
сцементированы углисто-кремнистой породой.  
Шалкиинская свита (x1,8)

Figure 18 – Sample 14. Breccia, quartz fragments are cemented  
carbonaceous-siliceous rock. Shalkiya formation (x1, 8)



Рисунок 19 – Образец 18. Слоистая осветленная ожелезненная порода со стилолитовым швом.  
Шалкиинская свита (x2,5)

Figure 19 – Sample 18. Layered clarified ferruginous rock with stylolite weld. Shalkiya formation (x2, 5)



Рисунок 20 – Образец 19. Осветленная ожезненная порода. Шалкиинская свита (x1,8)

Figure 20 – Sample 19. Clarified ferruginous rock. Shalkiya formation (x1,8)

Породы шалкиинской свиты интенсивно метаморфизованы и катаклазированы в зонах многочисленных разрывных нарушений северо-западного направления. В них отмечается тонкая вкрапленность пирита пентагондодекаэдрического и кубического габитуса, а в зонах разломов по многочисленным трещинам развиваются агрегаты гидроокислов железа и марганца (рисунок 21).

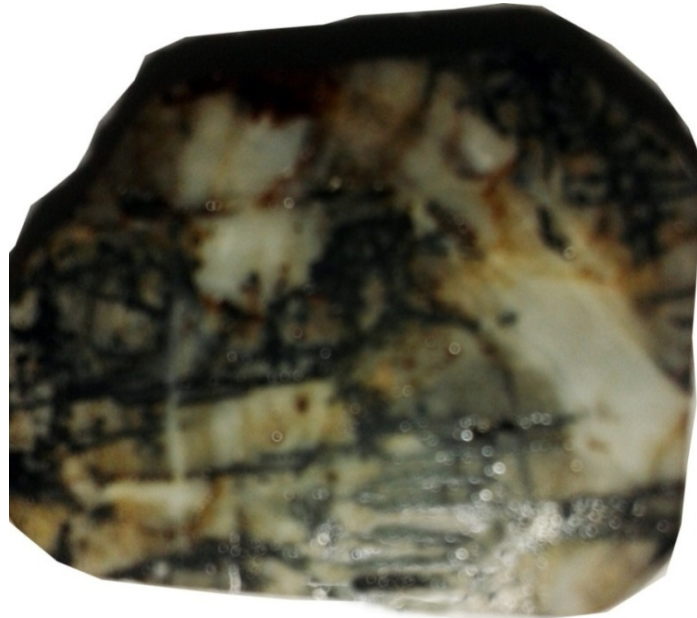


Рисунок 21 – Брекчия с рудным минералом в цементе и по прожилкам (гематит, марказит). Шалкиинская свита. Аншлиф, образец № 13, натуральная величина.

Figure 21 – Breccia with ore mineral in cement and in veins (hematite, marcasite). Shalkiya formation. Anshlif, sample No. 13, natural size.

По данным атомно-абсорбционного анализа содержания золота в пробах из тонкослоистых высокоуглеродистых кремнисто-глинисто-доломитовых, доломито-глинисто-кремнистых пиритизированных ритмитов верхней подсвиты шалкиинской свиты колеблются в пределах 0,05–3,06 г/т. С этим комплексом пород связаны и вторичные ореолы золота интенсивностью 0,02–0,06 г/т до 0,1–0,4 г/т, сопровождаемые повышенными содержаниями серебра 0,15–0,2 г/т до 2 г/т, свинца и мышьяка. Повышенные содержания золота до 0,22 г/т отмечаются и в эндоконтактах даек лампрофиров и кварцевых сиенитов, свидетельствующие о наложенном характере золотой минерализации на руды шалкиинского типа (Онищенко В.Я., 1971 г.). Золото тонкое – размером 0,1–0,2 мм. Преобладают чешуйчатые, пластинчатые, дискообразные формы, весьма характерные для ритмитов шалкиинской свиты. Встречающиеся псевдоморфозы золота по пириту также обладают уплощенными формами. Округлые выделения пирита наблюдаются по трещинам, где он концентрируется на агрегатах мобилизованного средне упорядоченного углеродистого вещества, близкого к шунгиту. Кроме того, пирит образует метакристаллы пентагондодекаэдрического и кубического габитуса. Размеры их 0,05–0,2 мм. Золото здесь тесно связано с пиритом, который является основным концентратом золота.

Отложения верхнешалкиинской подсвиты слагают ядерные части Карамурунской и Мынбулакской синклиналей. Повсеместно фиксируются тектонические взаимоотношения верхней и нижнешалкиинской подсвит.

Отложения верхнешалкиинской подсвиты представлены темно-серыми до черных средне-тонкоплитчатыми, ритмично построенными тонкослоистыми микритовыми углеродисто-глинисто-кремнисто-карбонатными, кремнисто-карбонатными, глинисто-карбонатными, кремнистыми отложениями (*in situ*), серыми, темно-серыми средне плитчатыми разнозернистыми (от крупно- до тонкозернистых разностей) с примесью терригенного материала известняками, доломитизированными известняками (турбидиты Та, b, c), представленными биокласто-литокластовыми пакстоунами и вакстоунами. К углеродисто-глинисто-кремнисто-карбонатным отложениям *in situ* приурочены невыдержанные по простиранию тела (мощностью первые метры) и линзы брекчий оползания слабо литифицированного осадка, сложенные фрагментами вмещающих пород и темным микритовым материалом карбонатного состава. Горизонты брекчий зерновых и дебрисных потоков (мощностью первые метры, значительно реже 15–25 м), сложены неокатанными обломками скелетных биокласто-литокластовых водорослевых известняков, градационно-слоистых известняков, кремней, углеродисто-глинисто-кремнисто-карбонатных тонкослоистых отложений, сцементированных литокласто-биокластовым средне-крупнозернистым матриксом. Тела данного типа брекчий имеют эрозионные контакты с подстилающими отложениями. Для тонкослоистых углеродисто-глинисто-кремнисто-карбонатных отложений характерно наличие послойной тонкой сингенетичной вкрапленности пирита. В слоях существенно-кремнистого состава отмечаются многочисленные остатки радиолярий и спикул губок.

Известняки биокластовые и биокластово-интракластовые микрозернистые (пакстоуны), почти пелитоморфные с многочисленными обломками водорослей различной формы и размеров. В водорослевых известняках (пакстоунах) слоевица и обломки водорослей перекристаллизованы, очень плохой сохранности. Интракласты (кальцит, доломит) часто замещаются рудным веществом. Биокласты представлены органическими остатками плохой сохранности (водоросли, радиолярии). Микритовый матрикс перекристаллизован, содержит биокласты шламовой размерности и углеродистое вещество, развитое по сланцеватости. Углеродистое вещество или распределено неравномерно по сланцеватости, или тонко рассеяно по всему шлифу. В шлифах встречены неравномерно рассеянные включения рудного минерала различной формы и размеров, часто рассеяны мелкие включения рудного минерала, в том числе пирита кубической и гексагондоэдрической формы. Часто в прожилках и по водорослям развит рудный минерал, иногда рудный минерал неравномерно распределен по всему шлифу, часто замещает органические остатки. Порода часто рассланцована и пронизана прожилками кальцита двух генераций.

В биокластовых известняках встречаются многочисленные реликты неопределимой органики (мелкие рачки или остракоды, радиолярии, водоросли). Встречаются единичные фораминиферы очень плохой сохранности: *Archaesphaera* sp., *Parathuramina* ? sp., *Bisphaera* sp., *Diplosphaerina* ?



sp., *Auroria cf. ferganensis* Pojarkov, *Auroria* sp., *Paracaligella* sp., *Parastegnammina* sp., *Tournaellina* sp. (*Tournaellina cf. primitiva* Lip.), *Eoendothyra* sp., которые встречаются, в основном, в фаменских (D<sub>3</sub>fm) и турнейских отложениях (C<sub>1</sub>t) различных регионов [9,10,11].

Водоросли представлены *Kamaena cf. delicata* Antropov, *Kamaena* sp., *Issinella cf. devonica* Reitlinger, *Issinella cf. grandis* Tchuvachov, *Parachaetetes ? (Thomiliton) jonsoni* Masslov, *Epiphyton* sp., *Pseudonanopora cf. stockmansii* Mamet et Roux, *Conglutinella aff. tikhii* Shuysky, редки *Solenopora* (D<sub>3</sub>-C<sub>1</sub>) [8]. В шлифах обнаружены единичные обрывки перекристаллизованных мшанок, фораминиферы *Eotuberitina lesovaja* Michno и водоросли *Epiphyton* sp. (D<sub>3</sub>fm). Встречаются спонголиты (известняки окремненные перекристаллизованные) с многочисленными спикулами губок, радиоляриями, единичными водорослями, в том числе *Kamaenidae*, чаще *Renalcis*.

Таким образом, по фораминиферам и водорослям установлено два рудных стратоуровня в пределах участка Карамурун. Часто наблюдается замещение органических остатков рудным веществом.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Марченко Л.Г. Микро-наноминералогия золота и платиноидов в черных сланцах. – Алматы, 2010. – 146 с.
- [2] Рафаилович М.С. Золото недр Казахстана: геология, металлогения, прогнозно-поисковые модели. – Алматы, 2009. – С. 304.
- [3] Хаусен Д.М., Керр П.Ф. Месторождение тонкодисперсного золота Карлин, штат Невада // Рудные месторождения США. – М., 1973. – С. 591-623.
- [4] Мурзин В.В., Сазонов В.Н., Ронкин Ю.Л. Модель формирования Воронцовского золоторудного месторождения на Урале (Карлинский тип): новые данные и проблемы // Литосфера. – 2010. – № 6. – С. 66-73.
- [5] Берикболов Б.Р. Меднорудные формации Казахстана. – Алматы: Гылым, 1999. – С. 71-75, 102-123.
- [6] Металлогеническая карта Казахстана м-ба 1:2 500 000 и 1 000 000, глубинное строение и минеральные ресурсы, металлогения / Мирошниченко Л.А., Жуков Н.М. – Алматы, 2002. – 110 с.
- [7] Мирошниченко Л.А. Атлас моделей месторождений полезных ископаемых Казахстана. – Алматы, 2004. – 140 с.
- [8] Иванова Р.М. Известковые водоросли карбона Урала. – Екатеринбург, 2013. – 189 с.
- [9] Поярков Б.В. Стратиграфия и фораминиферы девонских отложений Тянь-Шаня. – Фрунзе: Илим, 1969. – 185 с.
- [10] Липина О.А. Фораминиферы турнейского яруса и верхней части девона Волго-Уральской области и западного склона Среднего Урала. – М., 1955. – 96 с.
- [11] Михно Н.М., Балакин Г.В. Фораминиферы и мшанки нижнего карбона Чаткальских гор. – Ташкент, 1975. – 149 с.

#### REFERENCES

- [1] Marchenko L.G. Mikro-nanomineralogiya zolota i platinooidov v chernyh slancah. Almaty, 2010. 146 p.
- [2] Rafailovich M.S. Zoloto neдр Kazahstana: geologiya, metallogeniya, prognozno-poiskovye modeli. Almaty, 2009. P. 304.
- [3] Hausen D.M., Kerr P.F. Mestorozhdenie tonkodispersnogo zolota Karlin, shtat Nevada // Rudnye mestorozhdeniya SSHA. M., 1973. P. 591-623.
- [4] Murzin V.V., Sazonov V.N., Ronkin Yu.L. Model' formirovaniya Voroncovskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya na Urale (Karlinskij tip): novye dannye i problemy // Litosfera. 2010. N 6. P. 66-73.
- [5] Berikbolov B.R. Mednorudnye formacii Kazahstana. Almaty: Gylym, 1999. P. 71-75, 102-123.
- [6] Metallogenicheskaya karta Kazahstana m-ba 1:2 500 000 i 1 000 000, glubinnoe stroenie i mineral'nye resursy, metallogeniya / Miroshnichenko L.A., Zhukov N.M. Almaty, 2002. 110 p.
- [7] Perspektivy zhelezooksidnogo orudneniya Turkestanskogo troga (Severo-Zapadnyj Karatau). // Po materialam TOO «Laton-Geoservis». 2015.
- [8] Miroshnichenko L.A. Atlas modelej mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh Kazahstana. Almaty, 2004. 140 p.
- [9] Ivanova R.M. Izvestkovye vodorosli karbona Urala. Ekaterinburg, 2013. 189 p.
- [10] Poyarkov B.V. Stratigrafiya i foraminifery devonskih otlozhenij Tyan'-Shanya. Frunze: Ilim, 1969. 185 p.
- [11] Lipina O.A. Foraminifery turnejnskogo yarusa i verhnjej chasti devona Volgo-Ural'skoj oblasti i zapadnogo sklona Srednego Urala. M., 1955. 96 p.
- [12] Mihno N.M., Balakin G.V. Foraminifery i mshanki nizhnego karbona Chatkal'skih gor. Tashkent, 1975. 149 p.

**В. Я. Жаймина**

Қ. И. Сәтбаев атындағы геология ғылымдар институты, Алматы, Қазақстан

**ҚАРАМҰРЫН СТРАТОДЕНГЕЙЛЕРІ МЕН КЕННІҢ МИНЕРАЛДАНУЫ  
(ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН)**

**Аннотация.** Мақалада Қарамұрын екі кенді страто деңгейлері сипатталған. Бірінші–алғашқы фамен, қарамұрын кен қабатының жоғарғы қабаттардағы жыныстарға орайласқан және кварц-альбитті метасоматиттер көрсетілген. Негізгі кенді минералдарға пирит, халькопириті бар, таза алтын, гематит, гетит, рутил, лейкоксен, сфен және тағы басқалары кездеседі. Көп пириттелген аймақтарда алтын көп шоғырланған, спектральды сынамаларда иттрий, лантан, церий, иттербий элементтері құрамында көп екені анықталды. Екінші – кейінгі фамен-алғашқы турней страто деңгейінде кремнилі-көміртекті-тақта тасты құрылымдар шалқы кен қабатының жоғарғы бетіндегі қабаттарда шығады. Алтынның негізгі концентраты пирит болып табылады, сингенездік сеппелерде жіңішке қабат аралықтарда кездеседі. Екінші алтын ореолы күміс, мышьяк, қорғасынның құрамында көп болуымен кездеседі. Страто деңгейлердің жастық байланысы балдырлар мен фораминиферлер арқылы анықталған.

**Түйін сөздер:** стратоденгейлер, Қарамұрын, кен қабаты, фамен, турне, кремнилі-көміртекті-тақтатасты құрылымдар, балдырлар, фораминиферлер, пирит, алтын, күміс.

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 4, Number 424 (2017), 35 – 42

**L. I. Skrinnik, A. V. Koshkin, R. A. Amanbaev, K. U. Bulegenov,  
I. Yu. Silachyov, R. R. Gadeev, S. V. Perevozov, K. R. Plehova**

K. Satpaev Institute of Geological Sciences, Almaty, Kazakstan.

E-mail: lisgeo@inbox.ru

## **ON GOLD-BEARING OF UPPER COURSES OF THE LARGE ALMATINKA RIVER (NORTHERN TIEN SHAN)**

**Abstract.** The characteristic of a border area of Zailiysky and Kungey Alatau concerning gold mineralization is given. Opening in the Kyrgyzstan near-border territory of perspective gold-bearing zones with the productive contents of gold formed the basis to start correlative works in the Kazakhstan near-border zone. Known earlier copper and lead-zinc ore manifestations of Large and Small Almatinka riverheads were studied in respect of gold mineralization. Gold content of these objects not exceeding 5 g/t with is established. Its extremely nonuniform distribution can be caused by both the natural reasons and different analytical base. Volumes of the work carried-out were also insufficient to determine the prospects of the territory under investigation. The objective factors are the wide spread of glacial deposits and talus, which reduce the area of observations. Thick ore gold-bearing zones similar Kyrgyz, in our border territory were not revealed.

**Key words:** gold, thorite, quartz, Large Almatinka river, riverheads, glacial deposits, near-border area.

УДК 553.411(574.5)

**Л. И. Скринник, А. В. Кошкин, Р. А. Аманбаев, К. У. Булегенов,  
И. Ю. Силачев, Р. Р. Гадеев, С. В. Перевозов, К. Р. Плехова**

Институт Геологических наук им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

## **ВОПРОСЫ ЗОЛОТОНОСНОСТИ ВЕРХОВЬЕВ Р. БОЛЬШАЯ АЛМАТИНКА (СЕВЕРНЫЙ ТЯНЬ-ШАНЬ)**

**Аннотация.** Дана характеристика участка пограничной с Кыргызстаном зоны Заилийского и Кунгей Алатау в отношении золотоносности. Открытие на приграничной территории Кыргызстана перспективных рудоносных зон с промышленными содержаниями золота, послужило основанием для постановки корреляционных работ в казахстанском приграничье. Были изучены в отношении золотоносности ранее известные медные и полиметаллические проявления верховьев рек Большая и Малая Алматинка. Установлено наличие в них золота в содержаниях, не превышающих 5 г/т, при крайне неравномерном распределении, что может быть обусловлено как естественными причинами, так и различным качеством аналитической базы.

Негативными факторами при оценке территории явилось широкое распространение моренных отложений и осыпей, сокращающих площадь наблюдений. Мощные золоторудные зоны, аналогичные киргизским, на нашей приграничной территории не выявлены, но установлены в изученных на золото проявлениях и шлиховых пробах в их окружении повышенные содержания редких земель.

**Ключевые слова:** золото, торит, кварц, Большая Алматинка, верховья, ледниковые отложения, пограничный район.

**Введение.** В течение недавних лет перспективы открытия золоторудных месторождений в Казахстане существенно снизились и все чаще в этом плане рассматриваются слабо изученные высокогорные и приграничные районы. Стали известны открытия золоторудных объектов в пограничных районах Кыргызстана, в том числе благодаря успешным геолого-поисковым работам

на правом берегу р. Чон-Кемин и хр. Кунгей на пограничной территории с Казахстаном [1, 2]. Вблизи границы с киргизской стороны были открыты перспективные золоторудные зоны, по простиранию переходящие на территорию Казахстана, в верховья рек Большая Алматинка и Талгар [3]. Наиболее крупные приграничные рудоносные структуры Киргизии: Чонкеминская, Мамбеткульская золото-медно-редкоземельные, Баши-Джайская медно-золотая, Ташкия-Каскеминская уран-ториевая, Дюре-Кашкасуйская медно-висмутовая, Алматинская и Перевальная золоторудные, Восточно-Кашкасуйская, Кокжарская золото-медные зоны. Содержания золота в гранитах, вулканитах и кварцевых жилах перечисленных зон варьируют в пределах 0,5-9 г/т, в гидротермально измененных гранодиоритах до 33,5 г/т, в березитах и лиственитах до 5 г/т, в рыхлых отложениях до 2 г/т [3]. Такие содержания имеют промышленную ценность.

В 2015 г. “Группа золота” Института геологических наук Казахстана получила грант на выполнение работ на пограничной с Кыргызстаном территории Северного Тянь-Шаня по проекту «Корреляция палеозойских магматических и металлогенических комплексов пограничной территории Казахстана и Кыргызстана в пределах листов К-43-Б, К-44-А». Финансирование его неоднократно сокращалось, и продолжительность полевых работ составила в 2015 г. – 10 дней, в 2016 г. – 14 дней, что совершенно недостаточно для высокогорного района с неразвитой дорожной инфраструктурой.

Основной целью полевых работ было изучение закономерностей размещения и оценка перспектив золотоносности ранее известных медных и полиметаллических рудопроявлений и возможных новых объектов в бассейне рек Большая Алматинка и Малая Алматинка на простирании золоторудных зон Кыргызстана (рисунок 1). На обзорной геолого-металлогенической карте видно, что изученные нами объекты размещаются в палеозойских гранитоидах в зоне повышенной проницаемости с отчетливой редкометальной и полиметаллической специализацией. Эта зона протягивается в субширотном северо-восточном направлении через всю территорию района, при этом рудные проявления, тяготеют к приконтактовым зонам гранитов талгарского комплекса, либо к продольным разломам, секущим как ордовикские, так и девонские граниты.

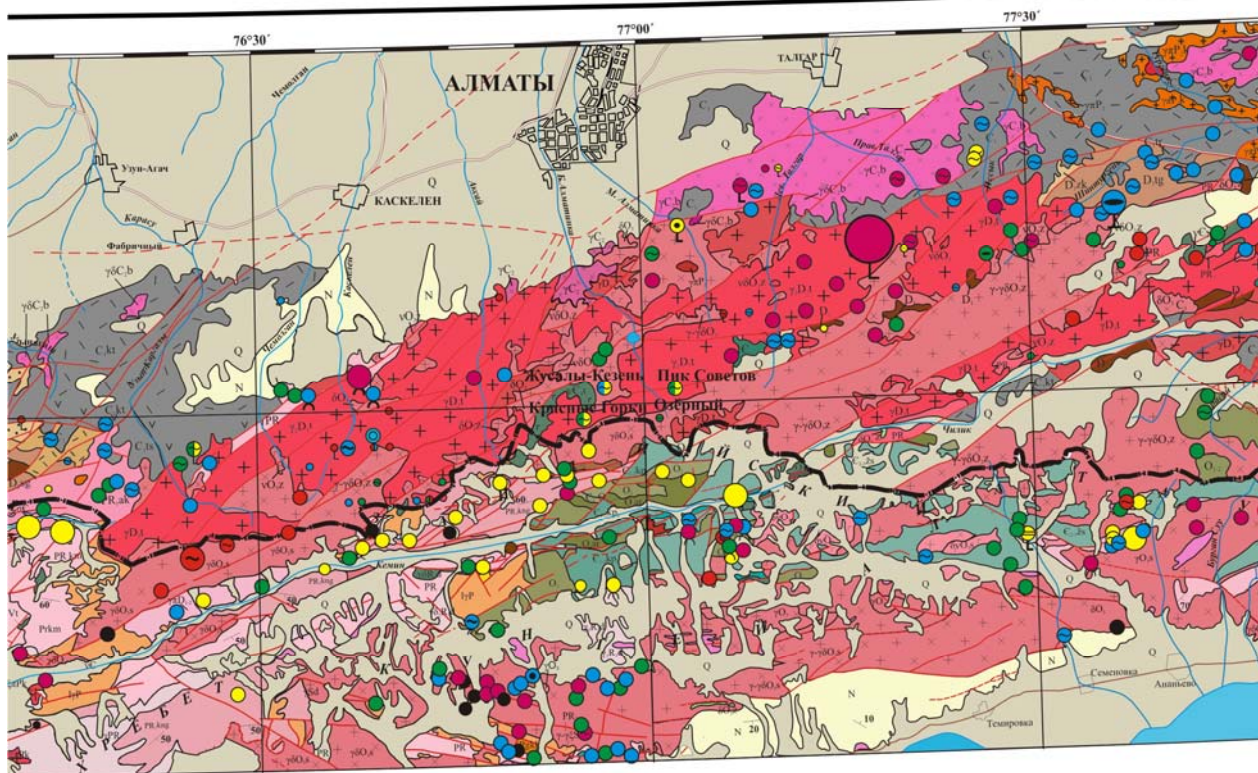


Рисунок 1 – Обзорная геолого-металлогеническая карта района работ Группы Золота ИГН РК в 2015–2017 гг.

Figure 1 – Reviewal geological-metallogenic map of working area of Gold group IGS of Kazakhstan on 2015–2017

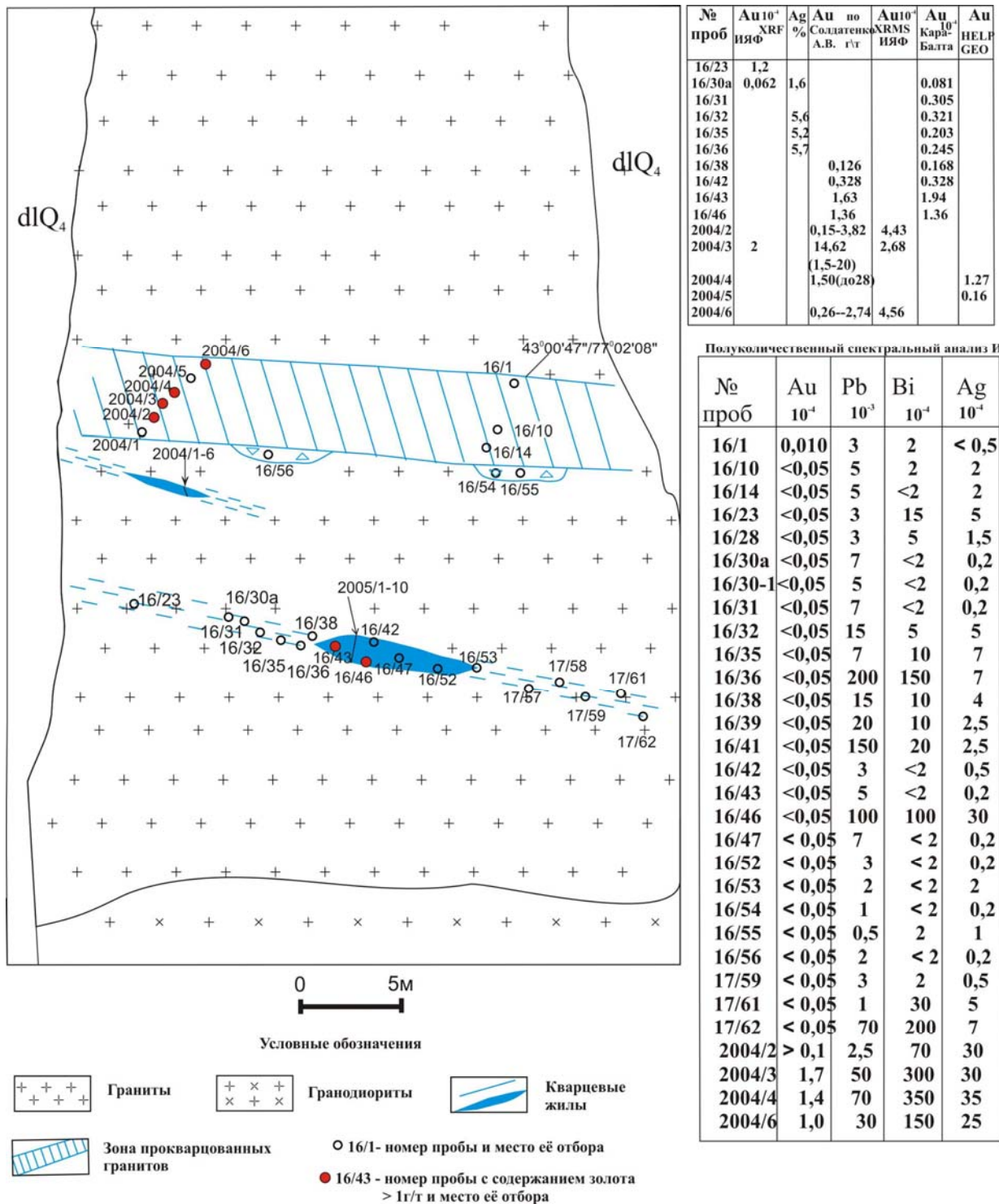


Рисунок 2 – Схематическая геологическая карта рудопроявления Пик Советов

Figure 2 – Schematic geological map of Pik Sovetov ore manifestation

Параллельная этой и расположенная южнее, в приграничной части Кыргызстана, вторая зона имеет золото-медно-редкометальную специализацию и приурочена к раннепалеозойским островодужным образованиям и гранитоидам позднего ордовика и девона (рисунок 1).

Проведенное нами полевое изучение пограничной территории (шлиховое опробование и отбор сборно-штупфных проб из жильных зон рудопроявлений) свидетельствует о золотоносности извест-

ных ранее полиметаллического проявления Пик Советов, медных – Красные горки, Озерный, Жусалы-Кезень, Жусалы-Кезень-II, а также высоких содержаниях спутников золота в открытых нами зонах пиритизации Талгарский перевал, плотина Медео, ручей Горный и других [4, 5]. Были составлены схематические карты потенциально перспективных участков масштаба 1: 2000 и 1:5000. Проведен анализ 47 шлиховых, 394 штуфных проб и 10 протоколов.

Из названных рудопроявлений Пик Советов и Красные Горки размещаются в розово-красных гранитах–граносиенитах талгарского комплекса позднего девона, Жусалы-Кезень, Жусалы-Кезень II и Озерный – в серых гранодиоритах позднеордовикского заилийского комплекса, в краевых частях массивов [6]. Все рудопроявления представлены кварцевыми жилами и зонами прожилкового окварцевания мощностью 10-20 см и протяженностью 50-100 м, расстояние между зонами варьирует в пределах 20-70 м. Реже встречаются барит-флюорит-кварцевые жилы с вкрапленностью халькопирита, куприта, включениями малахита. Простираение жил и зон гидротермальной проработки северо-восточное субширотное. Ниже дана краткая характеристика некоторых изученных проявлений.

Рудопроявление Пик Советов расположено в верховьях реки Большая Алматинка севернее автоброда и приурочено к гранитам талгарского комплекса вблизи их активного контакта с более древними гранодиоритами позднего ордовика. Представлено флюорит-барит-кварцевой жилой северо-восточного субширотного простираения с вкрапленностью пирита и халькопирита [6] и серией маломощных кварцевых жил, параллельных ей. Спектральный анализ показал содержание меди 0,5-0,1 %, висмута 0,002-0,03%, молибдена 0,02%. Содержания золота по данным экспресс-анализа по методике А.В. Солдатенко варьируют в пределах 0,15-14,6 г/т, по результатам инструментального нейтронно-активационного анализа, выполненного в Институте ядерной физики РК, не превышают 4,6 г/т (рисунок 2).

Рудопроявление Жусалы-Кезень II расположено на водоразделе левых истоков р. Большая Алматинка, в гранитах позднего ордовика. Представлено пегматитовой жилой 10x0,5 м с обильной вкрапленностью пирита и халькопирита и зонами жильного окварцевания и эпидотизации 2x20 м. Спектральный полуколичественный анализ показал содержания иттрия и иттербия 0,1%, циркония 0,05%, олова 0,1%, вольфрама 0,03%, сотые доли процента свинца и меди. Золото обнаружено, судя по рисунку 3, в пирите и составляет 1,4 г/т.

Рудопроявление Красные Горки (рисунок 4). В розовых гранитах талгарского комплекса, пересеченных разломом северо-восточного простираения, расположена серия зон прожилкового окварцевания с рассеянной вкрапленностью пирита и халькопирита, а по трещинам – налёты малахита. Из них три наиболее крупных зоны имеют мощность зон до 1 м, протяжённость около 40 м.

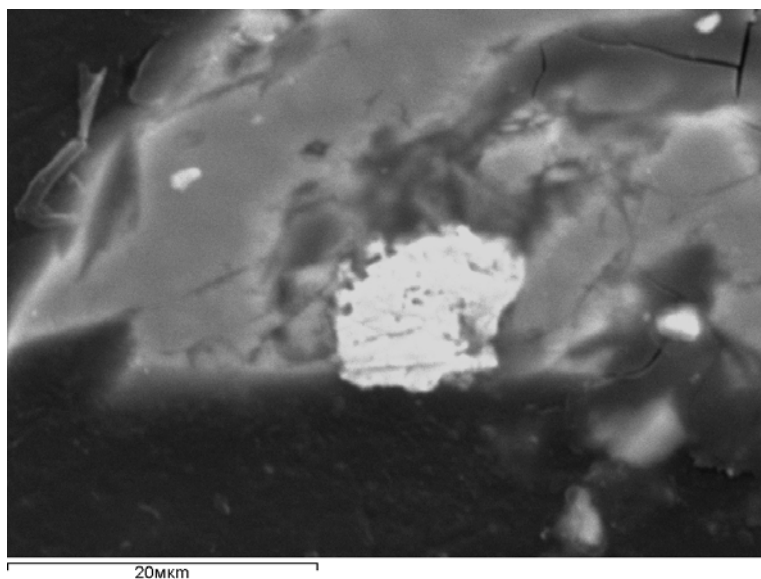
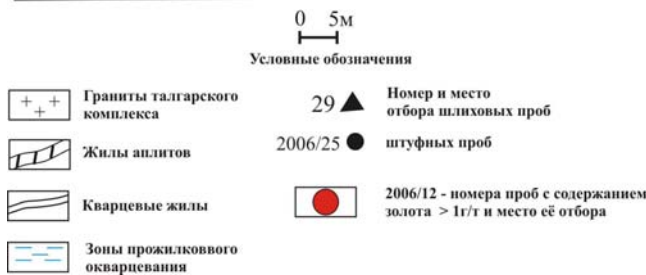
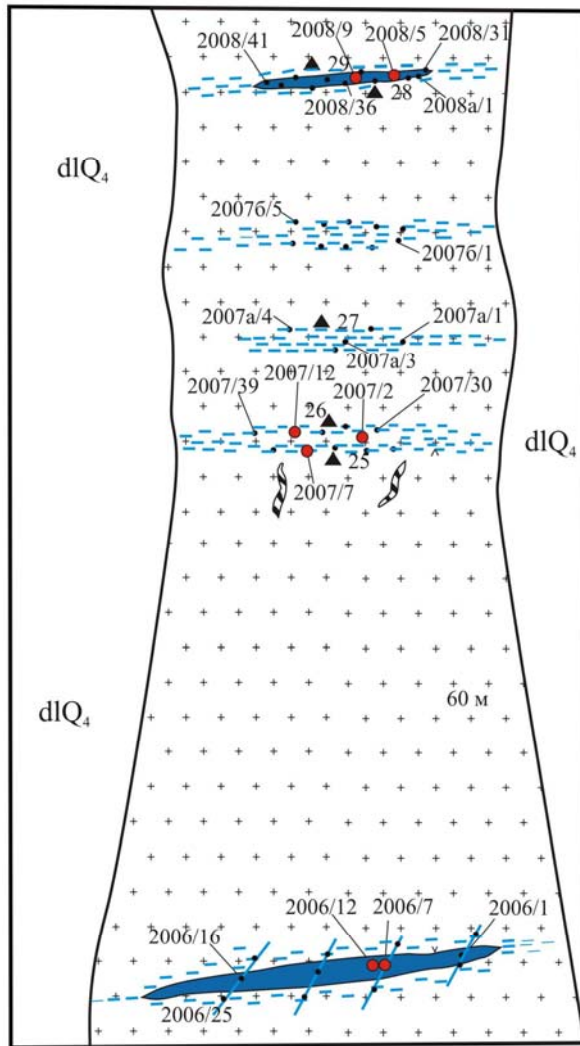


Рисунок 3 – Фото включения золота в кристалле пирита. Проявление Жусалы Кезень

Figure 3 – Photography of gold inclusion in pyrite crystal



№ проб	Au 10 <sup>-4</sup> ИЯФ XRF	Au по Солдатенко А.В. г/т	Au10 <sup>-4</sup> ИЯФ XRMS
2006/1	0.6		
2006/7		0.25-0.24	2.68
2006/12	0,050	0.25-2.04	1.78
2007/2		0.97-1.36	3.42
2007/7		4.05	1.04 ± 0.24
2007/12		0.97-1.3	3,42 ± 0,79
2008/5			5.33 1.23
2008/9			1.7 ± 0.9
2008a/1	0,008		±
2006/16	0,014		

Полуколичественный спектральный анализ ИГН

№ проб	Au 10 <sup>-4</sup>	Pb 10 <sup>-3</sup>	Bi 10 <sup>-4</sup>	Ag 10 <sup>-4</sup>
2006/1	< 0,05	0,35	< 2	0,2
2006/7	< 0,05	0,5	3	0,7
2006/12	< 0,05	0,75	< 2	0,7
2006/14	< 0,05	2,5	< 2	0,2
2006/16	< 0,05	< 0,5	< 0,2	< 2
2006/20	< 0,05	0,5	< 2	0,2
2006/24	< 0,05	2	< 2	0,3
2006/25	< 0,05	0,5	< 2	0,25
2007/1	< 0,05	3	3,5	0,7
2007/2	< 0,05	0,2	< 2	0,2
2007/3	< 0,05	0,5	< 2	0,25
2007/4	< 0,05	2,5	< 2	0,3
2007/7	< 0,05	5	3	0,5
2007/8	< 0,05	1,5	< 2	0,2
2007/10	< 0,05	2	< 2	0,2
2007/12	< 0,05	0,35	< 2	0,5
2007/30	< 0,05	5	2	0,5
2007/31	< 0,05	2	< 2	0,3
2007/32	< 0,05	3	15	0,3
2007/33	< 0,05	7	25	1,5
2007/34	< 0,05	1,5	< 2	0,2
2007/35	< 0,05	2	< 2	0,2
2007/36	< 0,05	2	< 2	0,5
2007/37	< 0,05	2,5	2	0,3
2007/38	< 0,05	3	5	0,7
2007a/4	< 0,05	2	< 2	0,2
2007b/1	< 0,05	3	5	0,7
2007b/2	< 0,05	3	< 2	0,2
2007b/3	< 0,05	3	< 2	0,5
2007b/4	< 0,05	3	< 2	0,5
2007b/5	< 0,05	1,5	< 2	0,3
2008/5	< 0,05		3	0,35
2008/9	< 0,05		15	5
2008/31	< 0,05	1	< 2	0,5
2008/32	< 0,05	1	< 2	0,5
2008/33	< 0,05	1	< 2	0,7
2008/34	< 0,05	1	10	0,2
2008/35	< 0,05	1	2	0,2
2008/36	< 0,05	1,5	< 2	0,3
2008/37	< 0,05	2	< 2	0,3
2008/38	< 0,05	2	2	0,2

Рисунок 4 – Схематическая геологическая карта рудопроявления Красные горки

Figure 4 – Schematic geological map of Red hills ore manifestation

Спектральный полуколичественный анализ показал содержания меди 0,3%, свинца 0,002%, серебра – следы. По данным экспресс-анализа по методике А.В.Солдатенко содержания золота 0,25-4,1 г/т, по результатам инструментального нейтронно-активационного анализа, выполненного в ИЯФ, достигают 1,0-5,3 г/т.

Рудопроявление Озерный. Представлено тектонической зоной северо-восточного простирания мощностью 6 м в биотит-роговообманковых гранодиоритах позднего ордовика. В ней залегает серия кварцевых жил с налетами малахита по трещинам и тонко распыленным эпидотом, придающим кварцу желтоватую окраску. Мощность жил до 0,7 м, протяжённость 20-23 м. Спектральный анализ установил: содержание меди 1%, серебра 0,002%, висмута 0,02%. Золото определено в одной пробе в количестве около 0,5 г/т.

Полуколичественный спектральный анализ в лаборатории ИГН, обнаружил в 47 пробах повышенные содержания меди, свинца, цинка, висмута, серебра. Эти пробы были переданы также на нейтронно-активационный анализ, результаты определения золота которым приведены в таблицах (рисунки 2-4). Кроме того, в окварцованных гранитах талгарского комплекса и шлиховых пробах обнаружены содержания Th до 39 г/т, Y до 66 г/т и La до 113 г/т (таблица). Перечисленные редкоземельные элементы в приграничной зоне Кыргызстана образуют значительные рудные скопления и даже месторождения [7]. На нашей территории они входят в состав торита-акцессорного минерала субщелочных лейкократовых гранитов позднедевонского талгарского комплекса и зон окварцевания. В зонах гидротермальной проработки повышенные содержания редких земель положительно коррелируют с золотом.

Результаты нейтронно-активационного анализа редких земель (г/т)  
Results of neutron-activatal analie of rare-erth

№ проб	Участок	Порода	Σ кларк	Y 33	Th 11	La 30	Yb 3	Ce 60	Nd 28
2007a/1	Красные Горки	Гранит D3tg с кварц. прожил	398,5	50	38,9	82,3	6,5	175	45,8
2007a/3	Красные Горки	Гранит D3tg с кварцев прожилк	271,7	34	32,5	57,0	5,4	110	32,8
2008a/1	Красные Горки	Хлоритизирован. гранит D3tg	215,5	28	12,9	52,1	3,3	88,7	30,5
2008a/2	Красные Горки	Окварцов гранит D3tg	344,9	41	23,2	83,0	4,9	148	44,8
2008/7	Красные Горки	Окварцов гранит D3tg	226,9	30	10,8	52,7	3,7	99	30,7
2008/10	Красные Горки	Кварцевая жила	227,1	24	35,2	51,5	3,4	90,7	22,3
2004/2	Пик Советов	Кварц с малахитом	326,2	64	11,9	50,8	6,4	131	62,1
1002/1	Большая Алматинка	Дробленый, пиритиз. гранит	377,9	45	19,5	78,4	5,3	168	61,7
1005/1	Большая Алматинка	Мусковитизир гранит D3tg	269,5	42	20,1	62,4	4,8	107	33,2
1007/1	Западнее пика Советов	Гранит пиритиз. D3tg	511,4	13	29,6	113	4,8	238	123
1010	Пик Советов	Гранит D3tg пиритиз	389,6	44	31,9	101	5,1	152	55,6
1010/1	Пик Советов	Гранит D3tg пиритиз	313,4	30	25,8	64,7	3,4	139	50,5
1021a	Пик Советов	Гранит D3tg пиритиз	255,5	51	16,5	31,3	4,2	129	23,5
1021б	Пик Советов	Эпидот гранит D3tg	447,7	66	17,2	87,8	6,2	177	93,5
1021/13	Пик Советов	Хлорит гранит D3tg	358,7	53	24,3	69,5	5,7	144	62,2
1031/1	Пик Советов	Пиритиз гранит D3tg	373,3	35	15,3	93,0	4,1	166	59,9
1031/2	Пик Советов	Пиритиз гранит D3tg	375,5	24	21,4	97,3	3,1	170	59,7
1039/2	Плотина Медео	Пиритиз гранит O3z	236,7	36	19,3	47,4	4,3	92	37,7
1039/3	Плотина Медео	Пиритиз гранит O3z	225,7	36	18,3	43,5	4,4	87,2	36,3
3/16	Пик Советов	Шлиховая проба	416,3	42	21,5	90,3	5,2	185	72,3
8/16	Пик Советов	Шлиховая проба	270,2	36	12,5	49,9	3,9	118	49,9
10/16	Пик Советов	Шлиховая проба	338,8	45	19,0	60,0	4,8	150	60,0
11/16	Пик Советов	Шлиховая проба	288,1	40	14,1	51,7	4,8	126	51,5
12/16	Пик Советов	Шлиховая проба	282	36	10,5	54,7	4,7	129	47,1
14/16	Пик Советов	Шлиховая проба	336,1	37	22,0	71,8	4,7	142	58,6
17/16	Пик Советов	Шлиховая проба	381,7	47	11,5	64,7	4,6	187	66,9
18/16	Пик Советов	Шлиховая проба	378,8	48	12,2	63,0	5,1	183	67,5
19/16	Пик Советов	Шлиховая проба	326,7	41	19,6	63,9	5,2	138	59,0
22/1-16	Красные горки	Шлиховая проба	180	45	21,7	63,9	4,8	131	53,6
25/16	Красные горки	Шлиховая проба	325,8	49	21,6	71,1	6,0	133	45,1
28/16	Красные горки	Шлиховая проба	395	54	35,8	84,1	6,6	158	56,5



Изучение золотоносности других известных ранее полиметаллических и редкометалльных рудопроявлений проведено в верховьях р. Малая Алматинка. Были изучены зоны пиритизации под Талгарским перевалом, на плотине Медео, а также в окрестностях давно отработанного золотого рудопроявления Медео и по ручью Горный. Отобраны сборно-штуфные пробы, протоочки и шлиховые пробы из элювия рудных зон. Перспективность данных участков также ограничена в связи с малыми размерами и невысокими содержаниями металла.

По данным нейтронно-активационного анализа содержания золота в пробах, обогащенных его спутниками (Ag, Bi, Sb, As, Pb, Cu, Mo) достигает 1-5 г/т. Другие виды анализа тех же проб дают более низкие содержания. Причина – известная геологической общественности различная точность анализов в разных лабораториях. Однако, несмотря на вариации содержаний, все использованные виды анализа говорят о присутствии золота в гидротермалитах бассейна р. Большая Алматинка.

В целом зоны, представляющие потенциальный интерес на золото, в изученном нами районе имеют небольшие мощности и протяженность и даже при содержаниях золота порядка 5 г/т разрабатываться, вероятно, не будут из-за небольших линейных параметров и расположения на территории заповедника.

Восточнее, по р. Малая Алматинка чаще встречаются зоны пиритизации и лимонитизации, более мощные и содержащие повышенные количества спутников золота. Судя по литературе, далее к востоку, в бассейне р. Талгар размещаются еще более мощные и протяженные зоны пропицитизации, возможно, еще более практически интересные. То-есть, возможно, имеет место определенная рудная зональность района, не только латеральная, но и вертикальная, поскольку бассейн р. Талгар является самой высокогорной, наиболее приподнятой частью Заилийского Алатау.

Если рассматривать пограничную территорию Заилийского и Кунгей Алатау как единую систему многократной гидротермальной проработки в зоне сближенных региональных разломов, то осевой линией этой системы явится зона Чилико-Кеминского разлома, а казахстанская часть будет ее северным флангом, периферической зоной.

Необходимо учесть как фактор, влияющий на объективность оценки перспектив значительную закрытость приграничной территории моренными, речными отложениями и осыпями, перекрывающими выходы геологических образований на поверхность. Очень важной составляющей объективной оценки территории также является объем геологических наблюдений, обусловленный небольшой продолжительностью полевого сезона, климатическими особенностями высокогорной зоны и практическим отсутствием автодорог. Возможно, при более продолжительных работах восточнее и западнее обследованной территории были бы открыты новые золоторудные и редкоземельные объекты.

*Работа выполнена при поддержке Комитета Науки МОН РК за счет фонда грантового финансирования на 2015-17 гг. проекта №3449/ГФ-4 «Корреляция палеозойских магматических и металлогенических комплексов пограничной территории Казахстана и Кыргызстана в пределах листов К-43-Б, К-44-А».*

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] Пак Н.Т., Дженчураева Р.Д. Рудоносные комплексы и минерогенез // Геодинамика и оруденение Тянь-Шаня (Кыргызстан). – Бишкек, 2014. – С. 128-156.

[2] Рафаилович М.С. Крупные золоторудные штокверки Тянь-Шаня и соседних регионов Центральной Азии // Геодинамика, оруденение и геоэкологические проблемы Тянь-Шаня. – Бишкек, 2013. – С. 178-183.

[3] Дженчураева Р.Д. Геодинамика, металлогения и рудогенез (на примере Тянь-Шаня и прилегающих территорий). – Бишкек: Илим, 2010. – 212 с.

[4] Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Северо-Тяньшанская. Лист К 43-ХI. Объяснительная записка. – М., 1979. – 143 с.

[5] Захаров И.А., Чабдаров Н.М. Геологическая карта СССР. Масштаб 1:200 000. Серия Северо-Тяньшанская. Лист К-43-ХII. Объяснительная записка. – М., 1984. – 123 с.

[6] Старов В.И. Интрузивные комплексы // В кн. Магматические комплексы Казахстана. Кокчетав-Северотяньшанская складчатая система. – Алма-Ата: Наука КазССР, 1982. – С. 122-156.

[7] Ивлева Е.А., Пак Н.Т. Редкоземельное оруденение Кыргызстана // Геодинамика, оруденение и геоэкологические проблемы Тянь-Шаня. – Бишкек, 2013. – С. 91-96.

REFERENCES

- [1] Pak N.T., Dzhenchuraeva R. D. Ore-bearing complexes and mineragenез // Geodynamic and ores of Tian-Shan (Kyrgyzstan) Bishkek, 2014. P.128-156.
- [2] Rafailovich M.S. Large goldbearing Tian-Shan and neighbouring regions stockworks of Central Asia// Geodynamics, ores and geocologic problems of Tian Shan. Bishkek. 2013. p.178-183.
- [3] Dzhenchuraeva R.D. Geodinamis, metallogeny and oregenesis (on example Tian Shan and adjacent territories). Bishkek, Ilim. 2010. 212p.
- [4] Geological map of USSR. Scale 1:200 000. Northern Tian Shan series. Sheet K-43-XI. Explanatory notes. Moscow, 1979. 143p
- [5] Zaharov I.A., Chabdarov N.M. Geological map of USSR Scale 1:200 000-Northern Tien Shan series. Sheet K-43-XII. Explanatory notes. Moscow, 1974. 123p.
- [6] Starov V.I. Intrusive complexes // Magmatic complexes of Kazakhstan, Kokchetav-Northern Tian Shan folding system. Alma-Ata: Science of KazSSR. 1982. p.122-156.
- [7] Ivleva E.A., Pak N.T. Rare-earth ores of Kyrgyzstan// Geodynamic, ore mineralization and geocologic problems of Tian Shan. Bishkek-2013-p.91-96

**Л. И. Скринник, А. В. Кошкин, Р. А. Аманбаев, К. У. Булегенов,  
И. Ю. Силадчев, Р. Р. Гадеев, С. В. Перезовов, К. Р. Плехова**

Қ. И. Сәтбаев атындағы геологиялық ғылымдар институты, Алматы, Қазақстан

**ҮЛКЕН АЛМАТЫ ӨЗЕНІНІҢ (СОЛТҮСТІК ТЯНЬ-ШАНЬ)  
ЖОҒАРҒЫ АҒЫСЫНДАҒЫ АЛТЫНДЫЛЫҒЫ ЖАЙЛЫ СҰРАҚТАР**

**Аннотация.** Іле және Күнгей Алатауына қарасты шекаралы аймаққа қатысты алтынды сипаттамасы берілді. Шекаралас Қырғызстан территориясынан өндірістік алтын құрамды перспективті аймақ ашылды, қазақстанның шекаралас кореляциялық жұмыстарды қою негізінде қызмет атқарды. Үлкен және Кіші Алматы өзендерінің жоғарғы ағысында бұрыннан белгілі мысты және полиметалды ашылымдардың алтындылық байланысы зерттелінді. Құрамында 5 г/т аспайтын алтын бар екендігі анықталды, алайда табиғи себептер мен әртүрлі талдау базалары сияқы шарттардың себебінен тең бөлінбеген болуы мүмкін. Істелінген жұмыстың ауқымы зерттелінген аумақтың перспективтілігін анықтау үшін жеткіліксіз болды. Объективті факторлар кең таралған теңіз шөгінділері және бақылаудағы қысқарған аумақты ысырындылары болып табылады. Қуатты алтын рудалы аймақтар ұқсастықтары қырғызда бар, ал біздің шекаралы аймақта анықталмаған.

**Түйін сөздер:** *золото, торит, кварц, Большая Алматинка, верховья, ледниковые отложения, пограничный район.*

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 4, Number 424 (2017), 43 – 55

**A. A. Aubakirov<sup>1</sup>, Zh. K. Zhamauov<sup>1</sup>, M. U. Aimagambetov<sup>1</sup>, V. F. Pankratov<sup>2</sup>, B. A. Yeskozha<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>“Firma “ALMEX PLUS” LLP,

<sup>2</sup>Geo Energy Group LLP, Atyrau, Kazakhstan.

E-mail: b.yeskozha@gmail.com

### ON INITIAL GEOLOGICAL RESULTS OF THE TARGET STUDY OF THE UPPER DEVONIAN FORMATIONS OF THE SOUTH EASTERN PRE-CASPIAN BASIN

**Abstract.** The article presents the initial results of works at the presalt highs located in the immediate proximity to the Tengiz oilfield. The 3D seismic surveys have detailed the structure of seven presalt highs. The drilling works at the depths of 5200-6200 m have been performed under abnormally high formation pressures and high temperatures. The newly obtained data on the drilling at Ansagan give the opportunity to define the perspectives of the deep Devonian strata and they represent the start of a new direction of exploration for large reserves of hydrocarbons in the South-Eastern Pre-Caspian basin.

**Keywords:** presalt sediments, Pre-Caspian Oil & Gas bearing Basin, oilfield, Upper Devonian, gas condensate, volumetric seismics, perspectives.

УДК 553.98(-925.22)

**А. А. Аубакиров<sup>1</sup>, Ж. К. Жамауов<sup>1</sup>, М. У. Аймагамбетов<sup>1</sup>, В. Ф. Панкратов<sup>2</sup>, Б. А. Ескожа<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ТОО «Фирма «АЛМЭКСПЛУС»,

<sup>2</sup>ТОО «ГеоЭнерджиГрупп», Атырау, Казахстан

### О ПЕРВЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РЕЗУЛЬТАТАХ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОГО ИЗУЧЕНИЯ ПОРОД ВЕРХНЕГО ДЕВОНА НА ЮГО-ВОСТОКЕ ПРИКАСПИЙСКОЙ ВПАДИНЫ

**Аннотация.** Приведены начальные результаты геологоразведочных работ на подсолевых поднятиях, расположенных в непосредственной близости от нефтяного месторождения Тенгиз. Буровые работы на глубинах 5200–6200 м проведены в условиях аномально высоких пластовых давлений и повышенных температур. Полученные новые данные бурения на площади Ансаган позволят определиться с перспективами девонской толщи на больших глубинах и представляют собой начало нового направления поисков крупных запасов УВ на юго-востоке Прикаспийской впадины.

**Ключевые слова:** подсолевые отложения, Прикаспийский нефтегазоносный бассейн, месторождение, верхний девон, газоконденсат, объемная сейсмозвездка, перспективы.

**Введение.** Перспективы открытия крупных скоплений углеводородного сырья все больше связываются с глубинными слоями Прикаспийской впадины. Кроме доказанных перспектив пород подсолевого палеозоя, этому способствуют возросшая информативность сейсморазведочных исследований, мощная технико-технологическая оснащенность буровых предприятий и новая генерация инженерных кадров. Другим стимулирующим фактором служит установление в ряде регионов резервуаров с хорошими фильтрационно-емкостными свойствами в условиях АВПД и значительным насыщением углеводородными газами на глубинах более 8000 м (Западная Сибирь), доказанная продуктивность отложений от перми до ордовика в Анадарском и Пермском бассейнах до глубин 9583 и 8700 м соответственно [2].

На большей части Приморского поднятия, возвращенной государству компанией «ТенгизШеврОйл» после всестороннего ее изучения, в 2014 году ТОО «Фирма «АЛМЭКС ПЛЮС» были возобновлены геологоразведочные исследования. Район работ приурочен к юго-восточной части Прикаспийской впадины (рисунок 1), в геологическом строении которой принимают участие три структурных этажа – подсоловой, соленосный и надсоловой. Принято считать, что фундамент юго-восточной части Прикаспийской впадины, имеющий байкальский возраст, в палеозое подвергся значительным тектоническим перестройкам и это отразилось на блоковом его строении. По мнению ряда исследователей [1, 10], блоковое строение фундамента Прикаспийской впадины имело значительное влияние на продолжительность этапов седиментации и формирование карбонатных платформ и при этом различные глубины залегания платформенного основания определяют изменчивость литологического состава и мощностей отложений палеозоя, т.е. наблюдается связь между условиями осадконакопления и блоковой структурой фундамента.

Особый интерес к исследуемой площади связан с существованием здесь погребенных, глубокозалегающих карбонатных платформ девонско-турнейского возраста (участок Ансаган – Пионерская), перспективы которых были не совсем ясны ввиду малого количества буровых и промысловых данных [10]. Другой задачей постановки работ является прогнозирование потенциала УВ на участках развития подсоловых поднятий вне зон развития карбонатных платформ.

Вскрытый палеозойский структурный этаж на участках развития карбонатных платформ сложен породами девона-карбона преимущественно карбонатного состава и, как правило, терригенно-карбонатными отложениями раннепермского возраста. Как показывает сравнительный анализ, Астраханский и Тенгизский типы палеозойского карбонатного разреза юга впадины характеризуются спокойным платформенным строением и слабой дислоцированностью пород, и являются наиболее благоприятными для скопления углеводородов [7,11]. Вне зоны развития карбонатных платформ вскрытая часть подсолового разреза представлена преимущественно терригенными породами с включением туфогенного материала. Указанные особенности строения южной части впадины отразились на перспективах нефтегазоносности и объясняют различия фазового состава углеводородов открытых месторождений. На данном разведочном блоке насчитывается 20 глубоких скважин советского периода, вскрывшие отложения девонского, каменноугольного, пермского и мезо-кайнозойского возрастов, результаты бурения которых подтверждают сложное строение данного участка (рисунки 2, 3).

По результатам анализа имеющихся геолого-геофизических материалов на контрактном участке (рисунок 1) общей площадью 1460 км<sup>2</sup>, прилегающем к известным подсоловым месторождениям Тенгиз и Королевское, выделен ряд подсоловых поднятий различной степени изученности и разного генезиса.

Для уточнения строения выделяемых поднятий и поисков нефтегазовых залежей в верхнем палеозое, в первые три года (2014-2016 гг.) периода разведки проведены сейсморазведочные исследования МОГТ 3Д в объеме 1080 км<sup>2</sup> на площадях Пионерская-Максат, Прорва Глубокая, Колтык Северный, Огай, Пустынная, Тажигали и пробурены разведочные скважины Ансаган-2 и Ансаган-3. Следует отметить, что на площади Ансаган компанией «ТенгизШеврОйл» в 2003 году были проведены сейсморазведочные работы 3Д в объеме 412 км<sup>2</sup> и пробурена поисковая скважина Ансаган-1 глубиной 6200 м. В результате кратковременного испытания в открытом стволе скважины получен фонтанный приток газоконденсата и была установлена продуктивность карбонатных пород фаменского яруса верхнего девона. Пластовый флюид легкий, плотностью 780 кг/м<sup>3</sup>, с высоким газовым фактором - 1348,23 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, и низким, по сравнению с нефтяным месторождением Тенгиз, содержанием

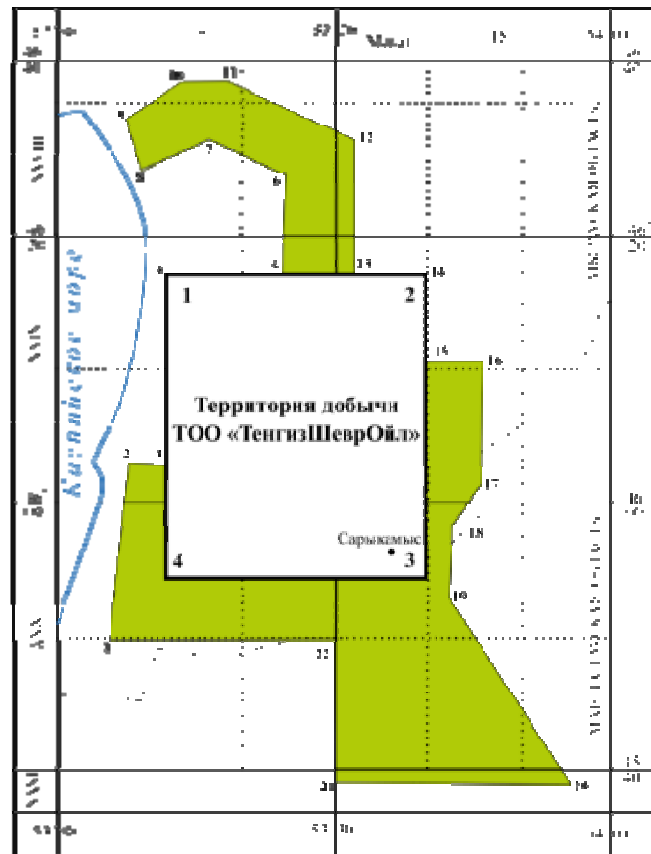


Рисунок 1 – Контуры участков геологического отвода контрактной территории

Figure 1 – The contours of geological blocks

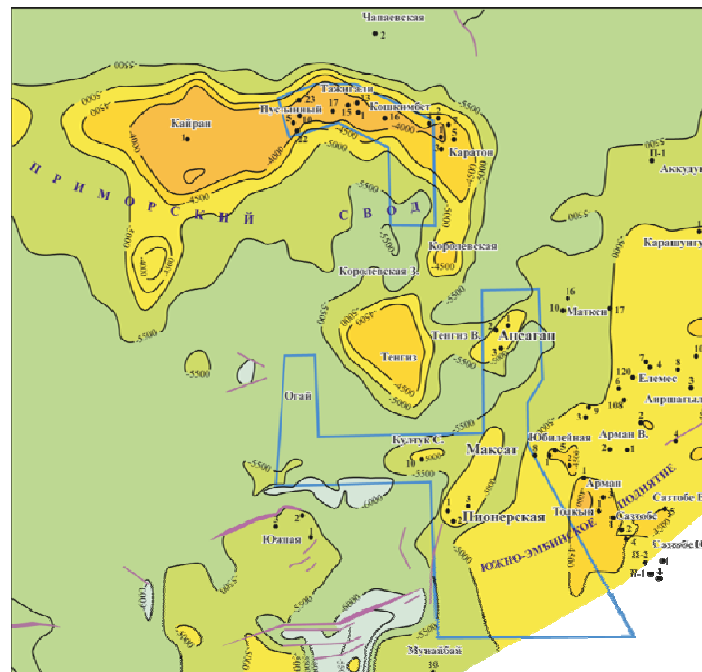


Рисунок 2 – Структурно-тектоническая схема района работ по карбону

Figure 2 – The Carboniferous structural tectonic scheme of the area of activities

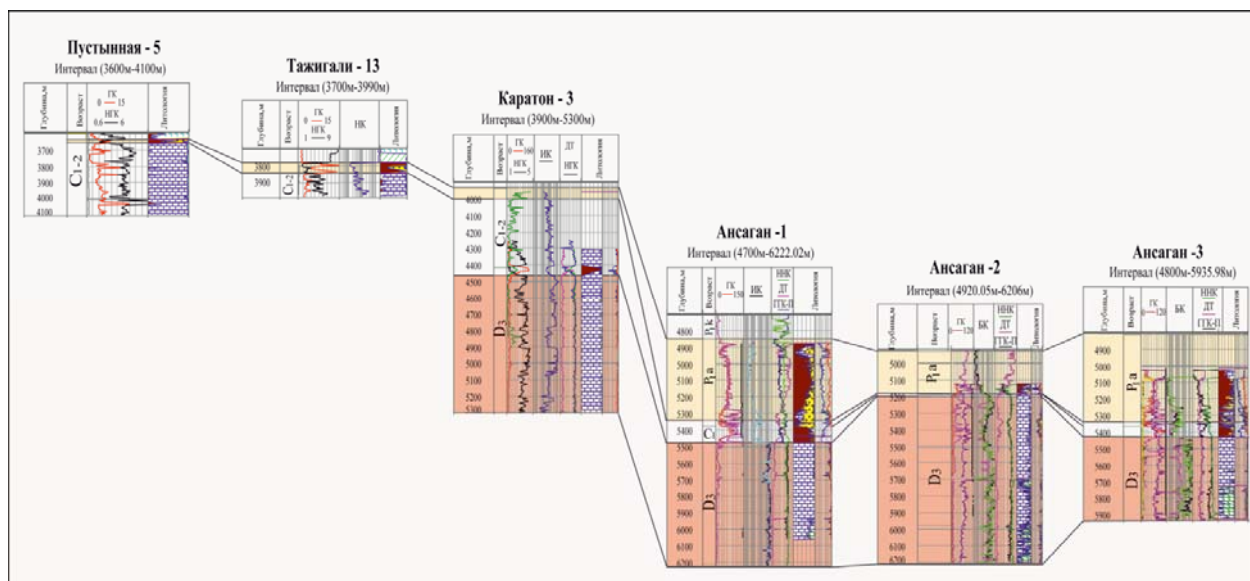


Рисунок 3 – Корреляционная схема

Figure 3 – Correlation scheme

сероводорода – 5,3%. Результаты сейсморазведочных работ и данные глубокого бурения позволили произвести детализацию строения, приступить к оценке углеводородного потенциала верхне-палеозойской толщи данной территории и наметить насыщенную программу геологоразведочных работ на ближайшую перспективу.

При планировании работ учтены данные российских и казахстанских геологов [3-5, 7] по условиям формирования исключительно газовых месторождений с высоким содержанием кислых компонентов на месторождениях Западно-Астраханское, Астраханское, Имашевское, Чинаревское, Тенгиз, Королевское. Палеотемпературы в глубоких (до 7000 м) скважинах на Астраханском поднятии, вскрывших терригенно-карбонатные породы нижнего и среднего девона, на глубине до 5000 м не превышали 155-165<sup>0</sup>С и они близки к современным (135-145<sup>0</sup>С). В этих отложениях с АВПД и температурами на глубине 6600 м до 180<sup>0</sup>С выделяются визейско-башкирский газовый и нижне-среднедевонский, вероятно нефтегазовый, горизонты с разными источниками питания. Из песчаников на глубине около 6,5 км получен приток метанового газа (10 тыс. м<sup>3</sup>/сут) без сероводорода. В глинистой толще среднего франа коэффициент аномальности снижается от 2 до 1,5. Подошва верхнего девона (горизонт P<sub>3</sub>) находится на глубинах 6,5-8,0 км, и это позволяет рассматривать терригенно-карбонатные отложения ниже фамена в качестве одного из основных источников углеводородов. Другим возможным поставщиком УВ рассматриваются фаменско-каменноугольные терригенно-карбонатные образования за одновозрастными карбонатными массивами.

При испытании первого объекта на скважине Ансаган-2 температура пласта в интервале 5977-6190 м (франский ярус) составила 146<sup>0</sup>С. Нефтяное месторождение Тенгиз также характеризуется невысоким (2,5<sup>0</sup>/100 м) геотермическим градиентом, что обуславливает расположение зоны нефтеобразования (до 160<sup>0</sup>С) на глубинах 5500-6000 м. Как справедливо отмечают известные казахстанские геологи Куандыков Б.М. и Матлошинский Н.Г. [6, 8, 9], изучавшие вопросы проявления и причин происхождения среднефранской фазы тектогенеза на северном борту Прикаспийской впадины, «...перспективы нефтегазоносности палеозойских отложений южной части Прикаспийской впадины не ограничиваются известными месторождениями. Здесь могут иметь место погруженные карбонатные платформы, связанные с газоконденсатными системами с аномально высоким содержанием жидкой фазы».

Все вышеприведенные данные и обнадеживающие прогнозы указывают на достаточно высокие перспективы нефтегазоносности и неоцененный углеводородный потенциал девонской толщи отложений и служат основанием для целенаправленного изучения глубокозалегающих пластов юго-востока Прикаспийской впадины.

По материалам новых сейсмических данных для большей части изучаемой территории выполнены обновленные кондиционные структурные построения крупного масштаба региональных отражающих горизонтов  $P_3$  (поверхность терригенного среднего девона),  $P_{2d}$  (кровля девонско-турнейского комплекса отложений),  $R$  (поверхность, отождествляемая с кровлей карбонатного резервуара),  $P_2$  и  $P_2'$  (кровля и подошва башкирских отложений),  $P_1$  (подошва соленосной толщи или размытая поверхность докунгурского палеозоя), характеризующих строение выявленных подсолевых поднятий участка, а также карты кровли соли (отражающий горизонт VI) и основных надсолевых сеймостратиграфических границ. В перспективе планируется изучение самой южной части контрактного участка, где можно ожидать существование дислоцированных карбонатных платформ каменноугольного (?) и пермского возраста (типа месторождения Толкын).

Далее представляется уместным вкратце представить сведения об особенностях строения изучаемых подсолевых структур Максат, Огайское, Пустынная, Тажигали по новым материалам сейморазведочных работ МОГТ 3Д в объеме 700 км<sup>2</sup>. Положительным моментом проведенных исследований следует считать использование на завершающей стадии интерпретации методики миграции ES360, позволяющей исследовать анизотропные свойства среды и прогнозировать зоны, например, с повышенной трещиноватостью разреза.

**Поднятие Максат** была выявлена по сейсмическим профилям 2Д прошлых лет и уточнена трехмерной съемкой в 2015 году. Сводная часть погребенной карбонатной постройки девонского (девонско-турнейского?) возраста локализуется в центральной части карбонатного тренда Пионерское-Ансаган и осложнена четырьмя локальными вершинами (рисунок 4). Основанием постройки является слабopоложительный рельеф по горизонту  $P_3$ , видимо, существовавший на момент залo-

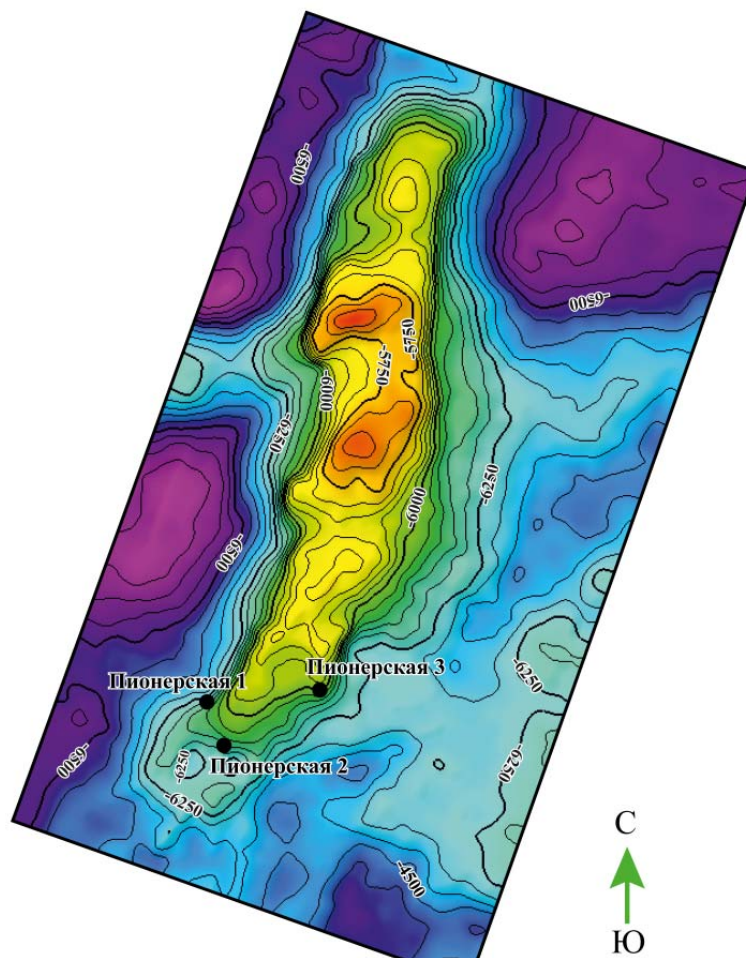


Рисунок 4 – Поднятие Максат. Структурная карта по горизонту  $P_{2d}$  (кровля девонских отложений)

Figure 4 – Maksat High. Horizon  $P_{2d}$  structural map (Devonian Top)

жения карбонатного тела на этой части площади. Кровля карбонатного резервуара (отражающий горизонт R) в региональном плане воздымается с юга на север в направлении структуры Ансаган. По прогнозной замыкающей изогипсе минус 7000 м, выходящей за пределы 3Д съемки, площадь структуры составляет 205 км<sup>2</sup> при максимальной амплитуде ловушки 1300 м. Кровля карбонатного резервуара в верхнем девоне, по сравнению с Ансаганом, залегает значительно ниже, на глубинах порядка 5800-5900 м.

Как и для других участков развития карбонатных построек, здесь наблюдается аномальное уменьшение времен регистрации горизонта П<sub>3</sub>, что косвенно может свидетельствовать о наличии в подсолевом разрезе пород с высокими интервальными скоростями (известняки, доломиты). Такое явление рассматривается в качестве надежного индикатора, позволяющего идентифицировать присутствие карбонатов в девонско-каменноугольной толще отложений.

Другой важной особенностью участка является существование крупного поднятия в отложениях среднего-верхнего карбона и перми (участок Пионерская), где, по данным бурения еще в советское время трех глубоких скважин, прогнозируется существование крупных зон накопления карбонатов. По изогипсе минус 4450 м горизонта П<sub>1</sub> обширная структурная ловушка имеет площадь 37 км<sup>2</sup> при амплитуде 250 м (рисунок 5). Наличие данного объекта, изучение которого возможно попутно с изучением подстилающей карбонатной платформой, может увеличить эффективность дальнейших поисковых работ на участке и повышает перспективы его нефтегазоносности.

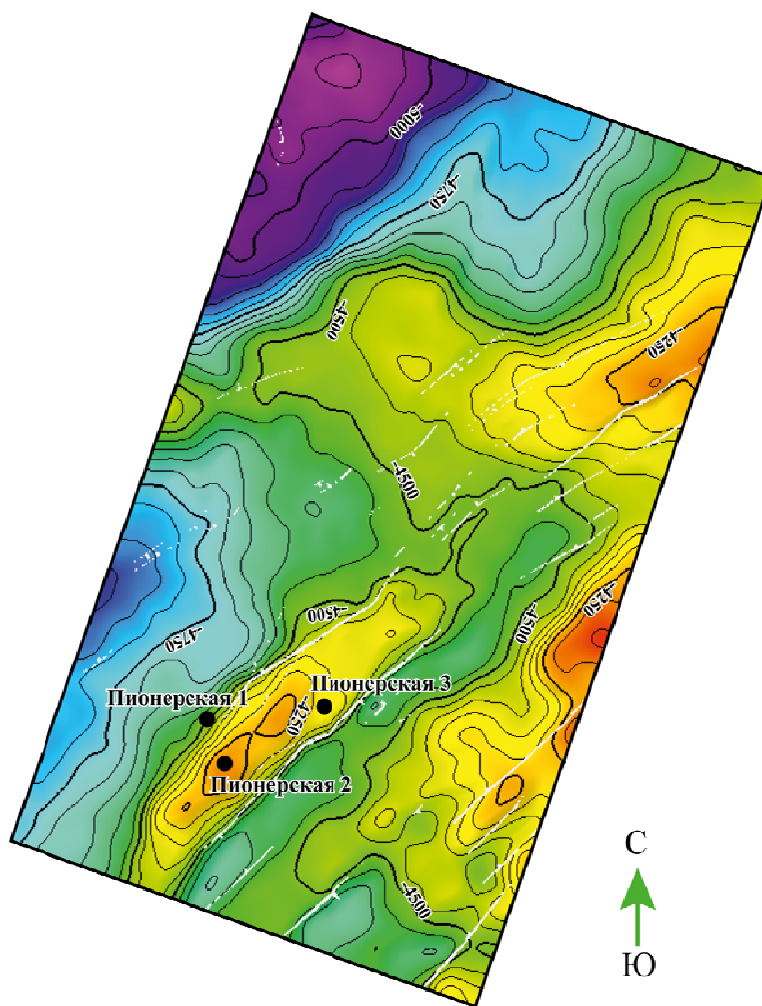


Рисунок 5 – Поднятие Максат. Структурная карта по горизонту П<sub>1</sub> (кровля подсолевого палеозоя)

Figure 5 – Maksat High. Horizon P<sub>1</sub> structural map (Presalt Paleozoic Top)



**Поднятие Огай.** Исторически данный участок некоторыми исследователями рассматривался как зона локализации погребенной карбонатной платформы, сопряженной с Тенгизским месторождением. Выполненные в 2016 году сейсмические 3Д исследования показали, что он характеризуется хорошей динамической выраженностью целевых горизонтов и достаточно спокойным и согласным поведением подсолевых границ. Кровля подсолевых отложений (отражающий горизонт  $P_1$ ) залегает на отметках от минус 5470 м до минус 4925 м. Выделяемое здесь малоамплитудное поднятие представляет собой брахиантиклиналь, вытянутую в северо-восточном направлении. Структурный план горизонта  $P_2'$  в целом повторяет основные морфологические особенности горизонта  $P_1$ . На уровне залегания горизонта  $P_3$  наблюдается моноклиналиное погружение в юго-восточном направлении в пределах отметок от минус 7350 до 8025 м. В восточной части структура отделена от Тенгизского месторождения седловиной, выполненной как терригенными породами нижней перми, так и склоновыми фациями карбона.

Полученная глубинно-скоростная модель указывает на низкие интервальные и пластовые скорости подсолевого разреза, в интервале значений 3500-5300 м/с, что не позволяет предполагать наличие карбонатных построек в фамене или карбоне. Тем не менее, подтверждается наличие обширной замковой структуры с двумя вершинами, которая по оконтуривающей изогипсе минус 6550 м горизонта  $P_2d$  (поверхность девонского комплекса отложений) имеет площадь 32 км<sup>2</sup> (рисунок 6). Амплитуда поднятия порядка 50-60 м. По подошве башкирских отложений (изогипсе минус 5650 м) параметры структуры соизмеримы с девонской.

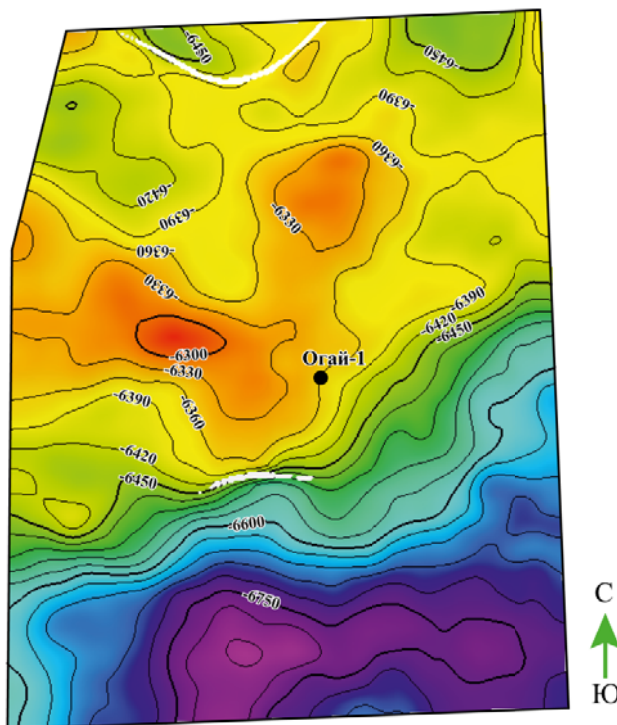


Рисунок 6 – Поднятие Огай. Структурная карта по горизонту  $P_2d$  (кровля девонских отложений)

Figure 6 – Ogai High. Horizon  $P_2d$  structural map (Devonian Top)

Имеющиеся на сегодняшний день данные о низких фильтрационно-емкостных свойствах терригенной части подсолевого разреза и относительно небольшие размеры выявленных структур не предполагают первоочередное изучение объектов участка Огай и оставляют их в фонде подготовленных структур с недостаточно высокими прогнозными ресурсами.

**Поднятие Пустынная-Тажигали** расположено в пределах Приморского свода, представляющего собой карбонатную платформу девонско-каменноугольного возраста в составе Тенгиз-Кашаганского карбонатного массива. На участке Тажигали-Пустынная отмечается достаточно резкое изменение направления простирания карбонатного тренда с северо-западного на юго-западное, на соединение с морским участком месторождения Кайран.

Участок активно изучался бурением еще в советское время, однако, несмотря на отдельные аварийные выбросы нефти и газа, перспективы его до сих пор представляются спорными.

По отражающему горизонту  $\Pi_1$  отмечается высокоамплитудная структура субширотная структура субширотного простирания. Поверхность горизонта в кровельной части карбонатного тела изменяется в пределах 3600-3850 м, круто погружаясь на склоновых зонах до отметок минус 5600 м на севере и 4850 м – на юге. Наиболее приподнятые участки поверхности  $\Pi_1$  приурочены к краевым частям платформы. Южная зона приподнятого залегания, где располагается вершина поднятия Пустынная, более протяженна, чем северная, куда тяготеет сводовая часть структуры Тажигали.

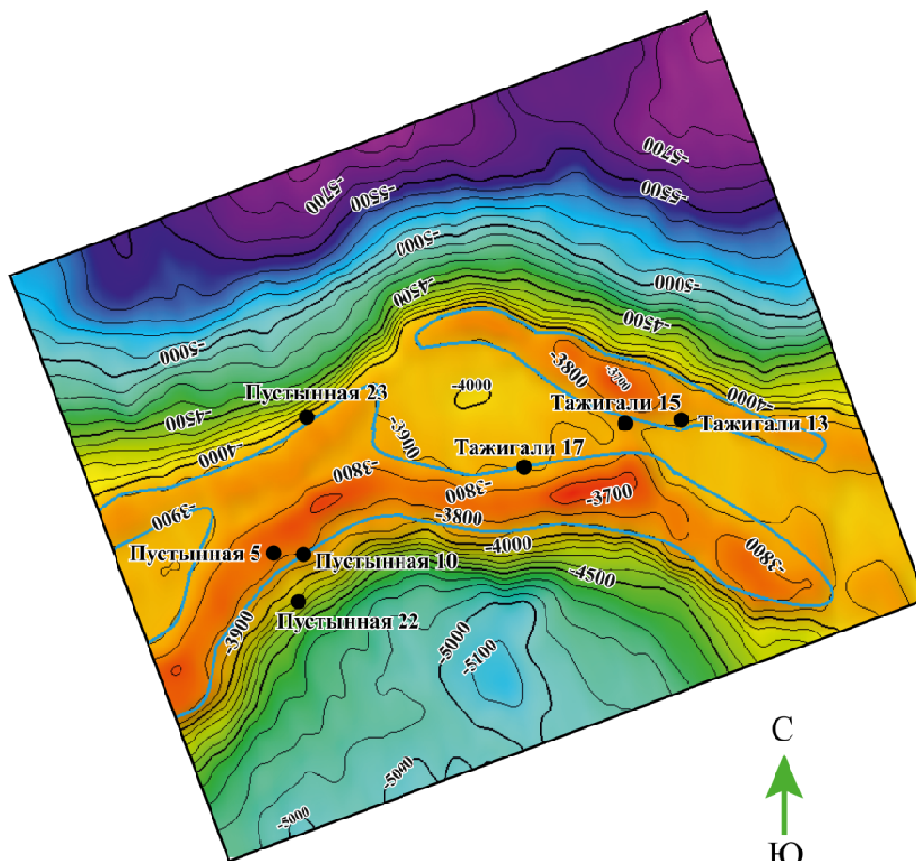


Рисунок 7 – Поднятие Пустынная-Тажигали. Структурная карта отражающего горизонта R (кровля карбонатного резервуара)

Figure 7 – Pustynnaya-Tazhigali High. Reflection Horizon R structural map (Carbonate Formation Top)

Структурная карта по кровле башкирских карбонатов (горизонт  $\Pi_2$ ) указывает на наличие серии поднятий глубинами 3625 м, приуроченных к центральной части поднятия Пустынная. В кровельной части карбонатной платформы горизонт R совпадает с подошвой терригенного комплекса нижней перми (рисунок 7), а на периферии отображает границу фациального перехода от карбонатного тела к терригенно-карбонатному комплексу, слагающему борта структур. В краевой зоне карбонатной постройки Тажигали также отмечены поднятия меньшей амплитуды. По аналогии с Тенгизом коллектора с улучшенными фильтрационно-емкостными свойствами следует ожидать в пределах бортовой зоны и вдоль границ платформы. Основанием карбонатной платформы служат породы среднего девона (горизонт  $\Pi_3$ ), испытывающие небольшое погружение на юго-восток. Глубина залегания границы  $\Pi_3$  (6500-6700 м) на участке Пустынный является минимальной для сухопутной части юга Прикаспийской впадины и вполне доступна для современного бурения. Учитывая большую вероятность существования обширного пологого свода по данному горизонту, простирающемуся от участка Пустынный на суше к участкам Кайран и Кашаган в акватории, предполагается дальнейшие поисковые работы проводить с учетом вскрытия горизонта  $\Pi_3$  хотя бы одной скважиной.

**Поднятие Ансаган.** По поверхности терригенного среднего девона (отражающий горизонт П<sub>3</sub>) отмечается пологое погружение с северо-запада с глубины минус 7200 м до минус 8600 м на востоке (рисунок 8).

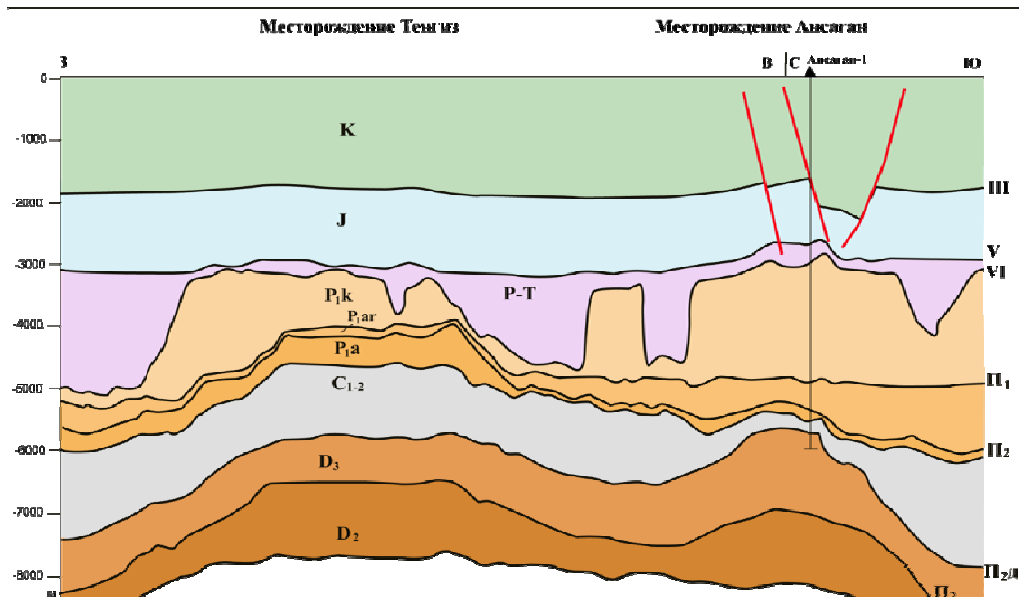


Рисунок 8 – Геологический профиль Тенгиз-Ансаган

Figure 8 – Tengiz-Ansagan geological profile

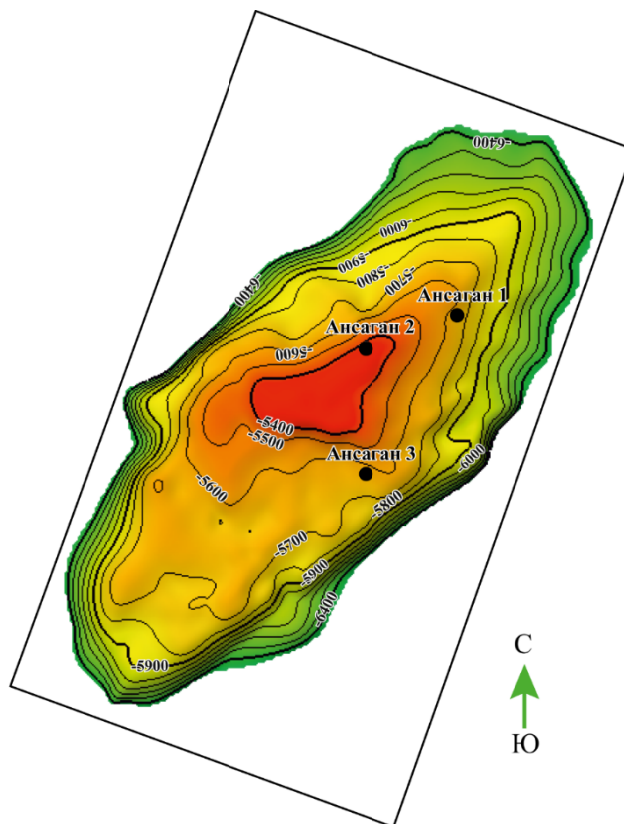


Рисунок 9 – Поднятие Ансаган. Структурная карта кровли девонского резервуара

Figure 9 – Ansagan High. Devonian Formation Top structural map

Отражающий горизонт  $\Pi_2d$  (поверхность карбонатной толщи верхнего девона) образует собственно структуру Ансаган – сложно построенную приподнятую зону, оконтуренную изогипсой минус 6400 м. Площадь прогнозируемой продуктивной части карбонатной постройки по замыкающей изогипсе минус 5900 м составляет 32,9 км<sup>2</sup>. Свод структуры по данным бурения картируется на глубине 5286 м (рисунок 9). Западная периклиналь поднятия через седловину и локальную структуру (Тенгиз Восточный) переходит в массив Тенгиз. По имеющимся данным, экранирующей зоной между месторождениями Тенгиз и Ансаган может служить седловина в фамене на глубине от 5790 до 6230 м.

Отражающий горизонт  $\Pi_2$  (подошва башкира) залегает на глубине 5250 м и по изогипсе минус 5400 м образует «структурный нос», протягивающийся на восток от месторождения Тенгиз до восточной периклинали структуры Ансаган. Отложения каменноугольного возраста, являющиеся основной нефтесодержащей толщей на месторождении Тенгиз, имеют тенденцию сокращения в восточном направлении и на своде структуры Ансаган происходит полное их выклинивание (рисунок 8, таблица).

Стратиграфия скважин месторождения Ансаган

Ansagan Field Wells Stratigraphy

Стратиграфия			Ансаган-1		Ансаган-2		Ансаган-3	
Возраст пород	Индекс	граница	глубина	мощность	глубина	мощность	глубина	мощность
неоген-четвертичные	Q+N	кровля	0	212	0	193	0	181
		подошва	212		193		181	
мел	K2	кровля	212	465	193	486	181	470
		подошва	677		679		651	
	K1	кровля	677	1274	679	990	651	1024
		подошва	1951		1669		1675	
юра	J3	кровля	1951	47	1669	86	1675	152
		подошва	1998		1755		1827	
	J2	кровля	1998	315	1755	558	1827	606
		подошва	2313		2313		2433	
	J1	кровля	2313	417	2313	58	2433	103
		подошва	2730		2371		2536	
триас	T	кровля	2730	24	2371	459	2536	320
		подошва	2754		2830		2856	
нижняя пермь	P1k	кровля	2754	2097	2830	1906	2856	1955
		подошва	4851		4736		4811	
	P1a+ass	кровля	4851	490	4736	449	4811	546
		подошва	5341		5185		5357	
карбон	C2	кровля	5341	42	-	-	5357	9
		подошва	5383		-		5366	
	C1	кровля	5383	91	-	-	5366	64
		подошва	5474		-		5430	
верхний девон	D3fm	кровля	5474	748	5185	786	5430	504
		подошва	6222		5971		5934	
	D3fr	кровля	-	-	5971	229	-	-
		подошва	-		6200		-	

По вышезалегающему отражающему горизонту  $\Pi_1$  (кровля докунгурских образований) структура Ансаган практически не выражена.

Компанией «АЛМЭКС ПЛЮС» завершено бурение двух разведочных скважин (Ансаган-2, Ансаган-3 глубинами 6200 м и 5934 м) и намечается строительство очередной поисковой скважины Ансаган-4.

Скважиной Ансаган-2 пройдены соленосные породы кунгурского возраста мощностью 1906 м, ассельско-артинские отложения толщиной 449 м, отложения карбона сокращенной мощности, встреченные в разрезе скважины Ансаган-1, здесь практически размыты. На глубине 5185 м вскрыты карбонатные породы верхнего девона. По данным исследования керна на предположительно глубине 5971 м вскрыты породы франского яруса верхнего девона (таблица). На основе изучения 19 образцов керна с целью определения фораминифер и 10 образцов на палинологический анализ выделены отложения девонской системы.

**Франский ярус** (образцы с 6191,16-6197,76 м) литологически представлен доломитами серовато-коричневыми, темно-серыми, известняками серовато-коричневыми доломитовыми. Породы трещиноватые, трещины заполнены углефицированными растительными остатками или кальцитом. Выделенный спектр спор, в котором ведущее место занимают виды подгруппы *Archaeozonotriletes*: *Archaeozonotriletes variabilis* Naum., *A. rugosus* Naum., *A. aff. aculeatus* Naum., совместно с *Hymenozonotriletes Hymenozonotriletes aff. imperpetus* Senn., *H. sp.*, а также *Lophozonotriletes sp.*, *L. curvatus* Naum., позволяет датировать отложения евлановско-воронежскими горизонтами франского яруса верхнего девона.

В образцах интервала 6197,13-6197,24 м встречаются единичные однокамерные фораминиферы *Parathuramminasp. Atjusellasp.*, *Tubeporinagloriosa* Pron., *Bithuramminasp.*, и харофиты *Umbellacf. Bella* Masl., *Umbellasp.*, определяющие возраст отложений, как франский ярус. Вскрытая толщина отложений франского яруса 229 м.

**Фаменский ярус** (образцы интервала 5920,5-5946,34 м) литологически сложен известняками серовато-коричневыми, перекристаллизованными, участками доломитизированными, трещиноватыми, со стилолитовыми швами. Трещины заполнены углефицированным веществом, отмечаются вкрапления кальцита.

Изученный комплекс фораминифер и водорослей характеризуется присутствием таксонов *Parathurammina cf. Breviradiosa* Reitl., *Saltovskajinascitula* (Tchuv.), *Eotuberitina praecipia* Tchuv., *Cribrakamaenafurcillata* Brenkle, определяющие нижнефаменский возраст отложений.

Фаменскому возрасту отложений также не противоречат присутствие в породах остатков микроспор: *Archaeozonotriletes famensis* Naum., *A. aff. acanthaceus* (Naum.) Kedo, *Lophozonotriletes aff. proscurrens* Kedo, *L. sp.*, *Zonomonoletes aff. vulgaris* Kedo, *Cornispora monocornata* Naz.

Толщина отложений фаменского яруса 786 м.

В разрезе скважины Ансаган-2 завершено испытание 5 объектов в отложениях верхнего девона. Из первых двух объектов в интервалах 5977-6189,7 м (франский ярус); 5730-5742 м (фаменский ярус) получены притоки пластовой воды плотностью 1,02 г/см<sup>3</sup> с большим содержанием растворенного газа.

При опробовании последующих трех объектов в интервалах 5686-5704, 5664-5682 м (III); 5336-5390, 5396-5420 м, 5430-5436 м (IV); 5300-5324 м (V) получены фонтанные притоки газа и конденсата. По данным анализа глубинных проб флюид является стабильным газоконденсатом плотностью 455 кг/м<sup>3</sup>. Газовый фактор объекта 1648 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. Пластовое давление 88,9-91, 40 МПа, температура пласта 133-146<sup>0</sup>С. Содержание сероводорода в газовой фазе 6,1%.

В скважине Ансаган-3 начато испытание и опробование выделенных перспективных объектов в отложениях верхнего девона и нижней перми.

Небольшой экскурс в историю развития участка показывает, что принципиально важным для дальнейшего анализа и понимания строения является корректное отображение поверхности П<sub>3</sub>, с которым связывается существование в районе работ мелководного бассейна с компенсированными условиями преимущественно терригенного осадконакопления. После регионального размыва началась морская трансгрессия и постепенное погружение минибассейна. В начальный период существовали мелководноморские условия, что способствовало обособлению обширной зоны карбонатакопления и образованию известных карбонатных построек. Увеличение скорости погружения в средне-позднедевонскую эпоху уже к началу турнейского века сформировало относительно глубоководный морской бассейн глубиной до 300-400 м. Обширная дугообразная карбонатная постройка разделила бассейн на внешнюю зону и зону обособленной открытой лагуны внутри полукольца Кайран-Пустынная-Каратон-Королевская-Тенгиз-Максат-Пионерская (рисунок 2). Основное отличие этих зон заключается в увеличенном содержании карбонатного материала в лагуне, что отображается на картах пластовых скоростей. Наиболее вероятным объяснением значительного сокращения области развития карбонатных тел может служить увеличение количества терригенного материала, поступающего в бассейн и подавляющего карбонатакопление. На это указывает отступление области карбонатакопления с юга и юго-востока, по направлению движения терригенного потока.

В позднедевонско-турнейское время, после регрессии моря повторяется длительная трансгрессия и это способствовало дальнейшему росту карбонатных построек. Анализ распределения

толщин между сейсмическими отражающими горизонтами  $P_3$  и V (предположительно подошва визейских отложений) позволяет утверждать об ограниченном характере поступления терригенного материала, но карбонатонакопление происходило наиболее интенсивно, о чем можно судить по карбонатам этого возраста на Тенгизе толщиной более 900 м.

Начиная с позднедевонской эпохи происходит разделение единой карбонатной платформы на отдельные постройки – Пионерская-Максат, Ансаган, Тенгиз, Королевская, Каратон, Пустынная. С визейского века прекращается процесс карбонатонакопления на участках Пионерская-Максат, Ансаган. В конце турнейского века завершается этап трансгрессии и после непродолжительной регрессии происходит скачкообразное уменьшение площади карбонатонакопления, которое продолжается и в среднекаменноугольную эпоху только в пределах структур Пустынный, Тажигали, Каратон, Королевское, Тенгиз.

#### **Выводы.**

1. Проведенными исследованиями получает свое подтверждение высказываемая многими исследователями мысль о наличии единой карбонатной платформы на юге Прикаспийского бассейна, сформированной в позднем девоне и охватывающей значительную площадь, на которой выявлены крупные и гигантские месторождения нефти и газа – Тенгиз, Кашаган и Астраханское и др.

2. Полученные геологические результаты ознаменовывают собой начало нового направления поиска крупных скоплений углеводородов в глубокозалегающих горизонтах верхнего и среднего девона и могут служить основанием для возобновления и усиления геологоразведочных работ на подсольевых поднятиях Южное, Айыршагыл, Урихтау, Кенжалы и др., расположенных на юго-восточном и восточном бортах Прикаспийской впадины.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

[1] Акчулаков У.А., Жолтаев Г.Ж., Куандыков Б.М., Исказиев К.О., Ескожа Б.А. Прогноз перспектив нефтегазоносности осадочных бассейнов Казахстана на основе геологических моделей их строения // Науки о Земле в Казахстане. Доклады казахстанских геологов на 35 сессии МГК. – Алматы, 2016. – С. 294-315.

[2] Богоявленский В.И. Сейсморазведка и нефтегазоносность палеозойских отложений Каспийского региона // Тезисы Первой Международной геологической конференции «АтырауГео-2011» по нефтепоисковым исследованиям на юге Прикаспийской впадины. – Атырау, 2011. – С. 16-18.

[3] Волож Ю.А., Парасына В.С. Астраханский карбонатный массив: строение и нефтегазоносность. – М.: Научный мир, 2008. – 221 с.

[4] Волож Ю.А., Леонов Ю.Г., Антипов М.П., Быкадоров В.А. Строение и перспективы нефтегазоносности зоны сочленения Прикаспийской впадины со Скифской и Западно-Туранской плитами // Тезисы Первой Международной геологической конференции «АтырауГео-2011» по нефтепоисковым исследованиям на юге Прикаспийской впадины. – Атырау, 2011. – С. 9-13.

[5] Ескожа Б.А., Воронов Г.В. О результатах изучения строения подсольевого комплекса юго-востока Прикаспийской впадины // Известия НАН РК. Серия геологическая. – 2008. – № 1. – С. 37-46.

[6] Куандыков Б.М., Матлошинский Н.Г. Новые перспективы нефтегазоносности палеозойской шельфовой окраины севера Прикаспийской впадины // Труды КОНГ, выпуск 5. Каспийский регион: проблемы строения и нефтегазоносности глубокозалегающих комплексов и генетическая природа углеводородов. Доклады на Третьей Международной геологической конференции «АтырауГео-2015». – Алматы, 2015. – С. 68-80.

[7] Марабаев Ж.Н., Жолтаев Г.Ж., Утегалиев С.А., Байымбетов А.Ж., Досмухамбетов М.Д., Исказиев К.О., Битеуова С.А., Джамикешев А.М. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности Северного и Среднего Каспия. – Алматы, 2005. – 194 с.

[8] Матлошинский Н.Г. Нефтегазоносность палеозойских карбонатных отложений юга Прикаспийской впадины // Тезисы Первой Международной геологической конференции «АтырауГео-2011» по нефтепоисковым исследованиям на юге Прикаспийской впадины. – Атырау, 2011. – С. 50-54.

[9] Матлошинский Н.Г. Нефтегазоносность девонских отложений Прикаспийской впадины // Труды ОНГК, вып. 4. Каспийский регион: геологическое строение и нефтегазоносность. Доклады на Второй Международной геологической конференции «АтырауГео-2013». – Алматы, 2014. – С. 124-135.

[10] Муссагалиев М.З., Панкратов В.Ф., Куанышев Ф.М., Пронин А.П. - Эволюция верхнепалеозойских карбонатных платформ юга Прикаспийской впадины // Геология и охрана недр. – 2004. – Вып. 2. – С. 17-21.

[11] Bazar Yeskozha, Marat Aimagambetov, Andrey Kondratenko, Vladimir Sementsov, Vladimir Pankratov, Aigul Kuanysheva, Alexander Inozemtsev, Vadim Soloviev, Zvi Koren. Applying full-azimuth angle domain imaging to study carbonate reefs at great depths // FIRST BREAK. An EAGE Publication. – March, 2017. – Vol. 35. – P. 77-83.

## REFERENCES

- [1] Akchulakov U.A., Zholtayev G.Zh., Kuandykov B.M., Iskaziev K.O., Yeskozha B.A. The forecast of oil and gas bearing perspectives of sedimentary basins of Kazakhstan on the basis of geological models of their structure // Earth Sciences in Kazakhstan. The reports of geologists of Kazakhstan at the 35<sup>th</sup> Session of the International Geological Congress. Almaty, 2016. P. 294-315.
- [2] Bogoyavlensky V.I. The seismic exploration and oil and gas bearing perspectives of the Paleozoic formations of the Caspian Region // The theses of the First International Geological Conference "AtyrauGeo 2011" on oil exploration studies in the Southern Pre-Caspian. Atyrau, 2011. P. 16-18.
- [3] Volozh Yu.A., Parasyina V.S. The Astrakhan carbonate massive: the structure and oil and gas bearing perspectives. M.: Scientific World, 2008. 221 p.
- [4] Volozh Yu.A., Leonov Yu.G., Antipov M.P., Bykadorov V.A. The structure and oil and gas bearing perspectives of the zone of the conjunction of the Pre-Caspian Basin with the Scythian and West Turan plates // The theses of the First International Geological Conference "AtyrauGeo 2011" on oil exploration studies in the Southern Pre-Caspian. Atyrau, 2011. P. 9-13.
- [5] Yeskozha B.A., Voronov G.V. On the results of the study of the structure of the presalt complex of the South-Eastern Pre-Caspian Basin // The News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. The Geological Series. 2008. N 1. P. 37-46.
- [6] Kuandykov B.M., Matloshinsky N.G. New oil and gas bearing perspectives of the Paleozoic shelf edge of the Northern Pre-Caspian // The works of the Kazakhstan Association of Petroleum Geologists, issue 5. The Caspian Region: the problems of the structure and of oil and gas bearing perspectives of deep complexes and the genetic nature of hydrocarbons. The theses of the Third international geological conference "AtyrauGeo 2015". Almaty, 2015. P. 68-80.
- [7] Marabayev Zh.N., Zholtayev G.Zh., Utegaliev S.A., Baiymbetov A.Zh., Dosmukhambetov M.D., Iskaziev K.O., Biteuova S.A., Dzhamikeshv A.M. The geological structure and oil and gas bearing perspectives of the Northern and Middle Caspian. Almaty, 2005. 194 p.
- [8] Matloshinsky N.G. The oil and gas bearing perspectives of the Paleozoic carbonate sediments of the Southern Pre-Caspian // The theses of the First International Geological Conference "AtyrauGeo 2011" on oil exploration studies in the South Pre-Caspian. Atyrau, 2011. P. 50-54.
- [9] Matloshinsky N.G. The oil and gas bearing perspectives of the Devonian sediments of the Pre-Caspian Basin // The works of the Kazakhstan Association of Petroleum Geologists, issue 4. The Caspian Region: the geological structure and oil and gas bearing perspectives. The theses of the Second International Geological Conference "AtyrauGeo 2013". Almaty, 2014. P. 124-135.
- [10] Musagaliev M.Z., Pankratov V.F., Kuanyshev F.M., Pronin A.P. –The evolution of upper Paleozoic carbonate platforms of the Southern Pre-Caspian // Geology and Subsoil Protection. 2004. Issue 2. P. 17-21.
- [11] Bazar Yeskozha, Marat Aimagambetov, Andrey Kondratenko, Vladimir Sementsov, Vladimir Pankratov, Aigul Kuanysheva, Alexander Inozemtsev, Vadim Soloviev, Zvi Koren. Applying full-azimuth angle domain imaging to study carbonate reefs at great depths // FIRST BREAK. An EAGE Publication. March, 2017. Vol. 35. P. 77-83.

**А. А. Аубакиров<sup>1</sup>, Ж. Қ. Жамауов<sup>1</sup>, М. Ө. Аймағамбетов<sup>1</sup>, В. Ф. Панкратов<sup>2</sup>, Б. А. Есқожа<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ЖШС «Фирма «АЛМЭКСПЛЮС»,  
<sup>2</sup>ЖШС «ГеоЭнерджиГрупп», Атырау, Қазақстан

### **КАСПИЙ МАҢЫ ОЙПАТЫНЫҢ ОҢТҮСТІК-ШЫҒЫСЫНДА ЖОҒАРҒЫ ДЕВОН ҚҰРЫЛЫМЫН ГЕОЛОГИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУДІҢ АЛҒАШҚЫ НӘТИЖЕЛЕРІ**

**Аннотация.** Теңіз мұнай кеніші маңында орналасқан тұз асты дөңестерінде жүргізілген геологиялық-барлау жұмыстарының алғашқы нәтижелері баяндалады. 5200-6200 м тереңдіктегі бұрғылау жұмыстары қалыпсыздық қысым мен жоғары температура жағдайында өтті. Аңсаған алаңында жүргізілген бұрғылау барысында қол жеткен табыс үлкен тереңдіктегі девон құрылымының мүмкіндіктерін анықтай түсуге ықпалын тигізіп, Каспий маңы ойпатының оңтүстік-шығысында көмірсутектің мол қорын іздестіру жолында жаңа бетбұрысқа жетелейді.

**Түйін сөздер:** тұз асты құрылымы, Каспий маңы мұнай-газ алабы, кен орны, жоғарғы девон, газконденсат, көлемдік сейсмобарлау, келешек.

**NEWS**

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES**

ISSN 2224-5278

Volume 4, Number 424 (2017), 56 – 64

**E. M. Fazylov, E. S. Musina**

Institute of Geological Sciences named after K. I. Satpayev LLC, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: musina.63@mail.ru

**THE MAGMATIC-SEDIMENTARY FACIES OF KENDERLIK  
MIDDLE-LATE CARBONIFEROUS SEDIMENTS AND THEIR ROLE  
IN THE FORMATION OF OIL SHALE FACILITIES**

**Abstract.** The characteristic of the volcanogenic-sedimentary facies of the Kenderlik Middle-Upper Carboniferous deposits was given. At that time, lavas and tuffolavas of medium and basic composition were outpoured here, as well as the accumulation of various tuffaceous formations, attributed to the following groups: volcanic deposits, deposits of explosive pyroclastic flows, volcanogenic sedimentary formations and volcanogenic proluvium. To these groups there correspond four volcanogenic-sedimentary facies: the facies of lavas and tuffolavas of the main and middle composition of the volcanic formations themselves, the facies of tuff explosive pyroclastic flows, the facies of bentonite clays of volcanic-sedimentary deposits of eruptive ash clouds, the facies of block conglomerates of Laharian deposits of volcanic proluvium.

Paleodzhaysan reservoir in the mid-Late Carboniferous time was a semi-isolated lagoon in which accumulation of mainly fine-grained terrigenous sediments took place. From time to time, specific conditions arose that were favorable for the formation of strata's of oil shale. Volcanic activity contributed to the rapid flowering of plankton, due to the incoming together with volcanic ash of a large number of substances, easily assimilated by microorganisms, stimulating their reproduction and growth. Its following burial, transformation into kerogen and joint sedimentation with terrigenous material led to the formation of oil shale layers.

**Keywords:** oil shale, kerogen, Middle-Upper carboniferous sediments, Upper Paleozoic, Zharma-Sauyr zone, Kenderlik field, facies, magmatic-sedimentary rocks.

УДК 553.93/.96; 553.983; 553.97

**Е. М. Фазылов, Э. С. Мусина**

Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

**ВУЛКАНОГЕННО-ОСАДОЧНЫЕ ФАЦИИ  
СРЕДНЕ-ПОЗДНЕКАМЕННОУГОЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ КЕНДЕРЛЫК И ИХ РОЛЬ  
В ОБРАЗОВАНИИ ПЛАСТОВ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ**

**Аннотация.** Приведена характеристика вулканогенно-осадочных фаций отложений средне-верхнекаменноугольных отложений месторождения Кендерлык. В это время здесь происходило излияние лав и туфолав среднего и основного состава, а также накопление различных туфогенных образований, относимых к следующим группам: собственно-вулканические образования, отложения эксплозивных пирокластических потоков, собственно вулканогенно-осадочные образования и вулканогенный пролювий. Этим группам соответствуют четыре вулканогенно-осадочные фации: фация лав и туфолав основного и среднего состава собственно вулканических образований, фация туфовых эксплозивных пирокластических потоков, фация бентонитовых глин вулканогенно-осадочных отложений эруптивных пепловых туч, фация глыбовых конгломератов лахаровых отложений вулканогенного пролювия.

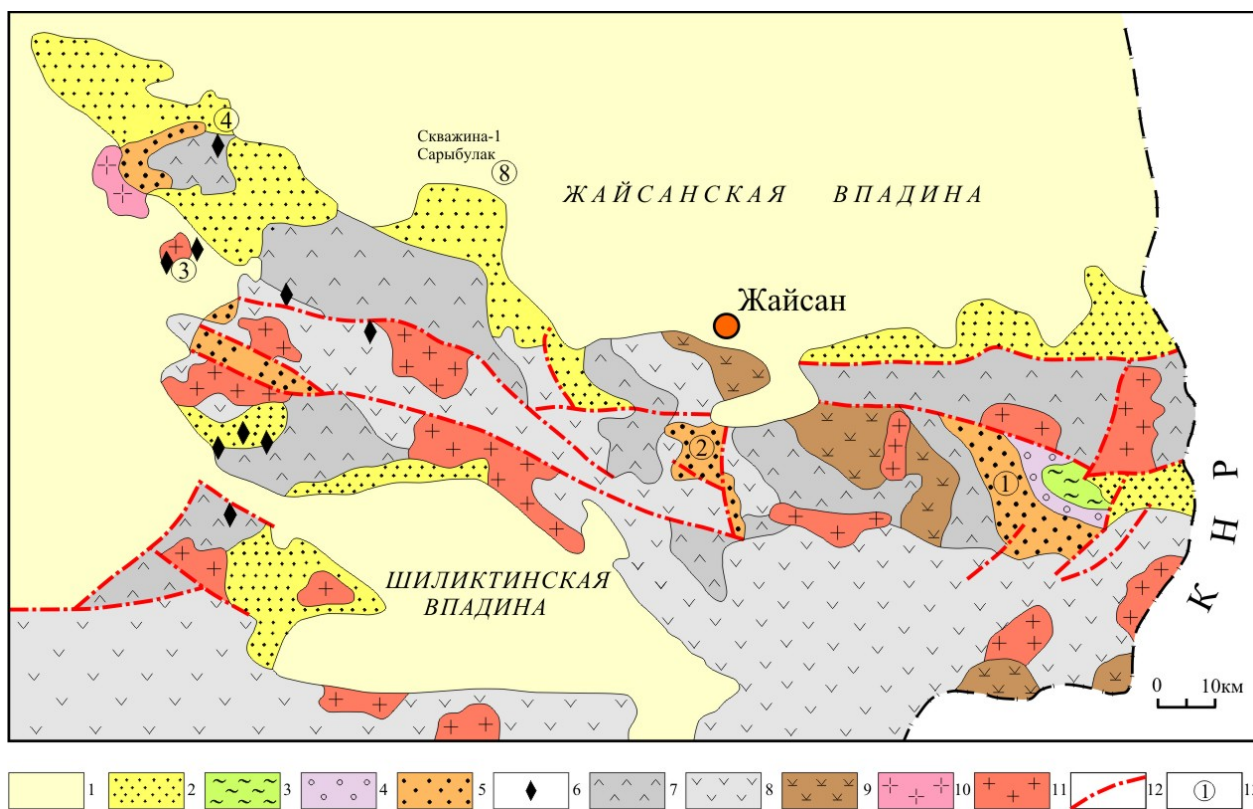


Палеожайсанский водоем в средне-позднекаменноугольное время представлял собой полуизолированную лагуну, в которой происходило накопление преимущественно тонкозернистых терригенных осадков. Временами возникали специфические условия, благоприятные для формирования пластов горючих сланцев. Вулканическая деятельность способствовала бурному расцвету планктона, что было связано с поступлением вместе с вулканическим пеплом большого количества легкоусвояемых микроорганизмами веществ, стимулирующих их размножение и рост. Последующее захоронение и преобразование органического вещества в кероген и совместная седиментация с терригенным материалом и привело к образованию пластов горючих сланцев.

**Ключевые слова:** горючие сланцы, кероген, средне-позднекаменноугольные отложения, верхний палеозой, Жарма-Сауырская зона, месторождение Кендерлык, фация, вулканогенно-осадочные отложения.

Крупнейшее в Казахстане комплексное угольно-сланцевое месторождение Кендерлык расположено в Жайсанском районе Восточно-Казахстанской области, в 55–65 км к юго-востоку от г. Жайсана (рисунок 1). Оно было открыто еще в 70 годах позапрошлого века. В изучении месторождения принимали участие в разные годы В.П. Нехорошев, В.В. Мокринский, Б.Л. Афанасьев, В.К. Василенко, И.А. Дериглазов, Н.Я. Шевченко, Г.П. Клейман, А.А. Тентерис, Г.А. Борисов, П.М. Пономарев, И.Н. Рощин, Фазылов Е.М., и др. [1-10]. В настоящее время там действует карьер по добыче угля, но горючие сланцы остаются пока не востребованными.

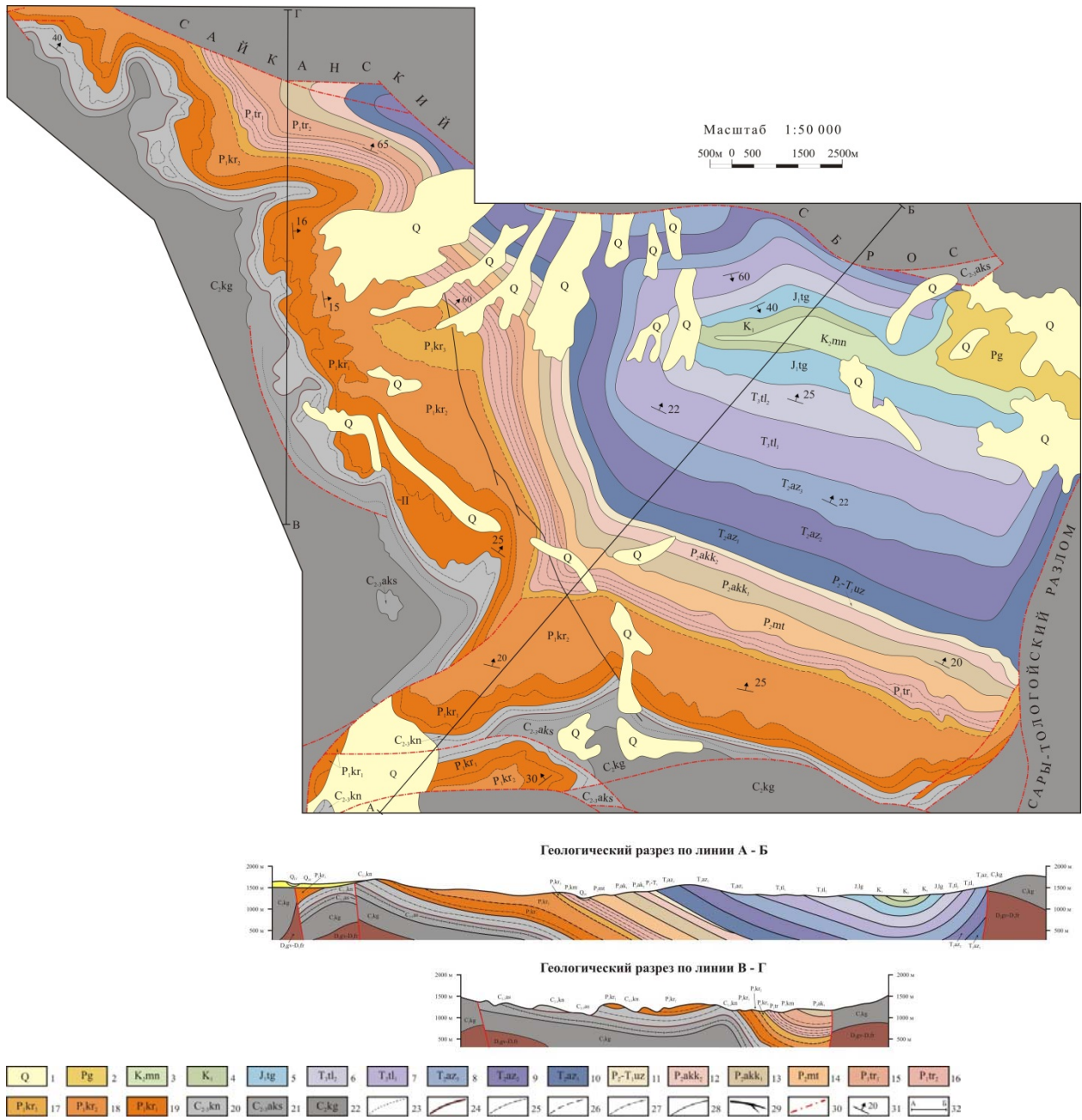
В тектоническом отношении Кендерлыкская мульда представляет собой крупную, почти замкнутую синклиналичную структуру северо-западного простирания с углами падения пород от 15–25° на юго-западном крыле до 50–75° на северо-восточном (рисунок 2). Крылья синклиналичной складки сложены породами акансайской, кендерлыкской, караунгурской, кемпирской, тараншинской,



Выходы коренных пород на поверхность: 1 – кайнозой, 2 – юры и мела, 3 – триаса, 4 – верхнего палеозоя, но не вмещающиеся в масштаб карты, 6 – нижнего карбона, 7 – среднего карбона, 8 – девона, 9 – пермо-триасовых кислых субинтрузий, 10 – гранитоидовсаурского комплекса, 11 – тектонические нарушения, 12 – месторождения и проявления горючих сланцев (цифры в кружочках): 1 – Кендерлык, 2 – Жеменей, 3 – Сагандык, 4 – Караадыр.

Рисунок 1 – Обзорная геологическая карта расположения месторождений и проявлений горючих сланцев в Восточном Казахстане

Figure 1 – The geological overview map of the location of deposits and developments of oil shale in East Kazakhstan



1 – стратиграфические подразделения: 1 – четвертичные, 2 – палеогена, 3 – манракской свиты верхнего мела, 4 – нижнего мела, 5 – тайсуганской свиты нижней (средней-?) юры, 6 – верхней подсвиты тологойской свиты верхнего триаса, 7 – нижней подсвиты тологойской свиты верхнего триаса, 8 – верхней подсвиты акжалтауской свиты среднего триаса, 9 – средней подсвиты акжалтауской свиты среднего триаса, 10 – нижней подсвиты акжалтауской свиты среднего триаса, 11 – ужумской свиты верхней перми – нижнего триаса, 12 – верхней подсвиты акколканской свиты верхней перми, 13 – отложения нижней подсвиты акколканской свиты верхней перми, 14 – майшатской свиты верхней перми, 15 – верхней подсвиты тараншинской свиты нижней перми, 16 – нижней кемпирской подсвиты тараншинской свиты нижней перми, 17 – верхней подсвиты караунгурской свиты нижней перми, 18 – средней подсвиты караунгурской свиты нижней перми, 19 – нижней подсвиты караунгурской свиты нижней перми, 20 – кендырлыкской свиты среднего-верхнего карбона, 21 – акансайской свиты среднего-верхнего карбона, 22 – вулканогенные образования кайгенбулакской свиты среднего карбона; маркирующие горизонты: 23 – «туф с древесиной», 24 – пласты «Калынкара» и «Верхний», 25 – туф кварцевый, 26 – «известняк с древесиной»; 27 – пласты горючих сланцев в кендырлыкской, караунгурской и тараншинской свитах, 28 – границы стратиграфических подразделений, 29 – дайка диабазовых порфиринов, 30 – тектонические нарушения, 31 – элементы залегания пород, 32 – линии разрезов.

Рисунок 2 – Месторождение Кендырлык. Геологическая карта и геологические разрезы

Figure 2 – Kendyrlыk field. Geological map and geological sections

майшатской, акколканской и ужумской свит верхнего палеозоя. С севера, вдоль хребта Сайкан, она ограничена крупным Сайканским сбросом, на востоке срезана Сары-Тологайским разломом, на юго-западе контакт также тектонический и только вдоль р. Акансай и в западной части структуры отмечается нормальное налегание верхнепалеозойских толщ на подстилающие эффузивные породы среднего карбона. В свою очередь, Кендерлыкская мульда осложнена пятью мелкими антиклинальными складками: Хахловской, Кульденекской, Сайканской, Айской и Женеляжской. Вдоль продольной оси Кендерлыкская мульда протягивается на 25 км, а ширина ее в средней части достигает 14 км.

В пределах месторождения Кендерлык отложения акансайской и кендерлыкской свит среднего-верхнего карбона, слагающие нижнюю часть разреза верхнего палеозоя в Сауыр-Маныражской подзоне Жарма-Сауырской зоны (ЖСЗ), протягиваются непрерывной полосой вдоль всего западного крыла мульды (рисунок 2).

*Акансайская свита* ( $C_{2-3as}$ ) несогласно с базальными конгломератами в основании залегает на вулканогенных породах нижнего-среднего карбона (рисунок 3). Литологический состав ее весьма разнообразный: конгломераты, гравелиты, граувакковые и туфогенные песчаники, алевролиты, аргиллиты, угли, бентонитовые глины, различные по составу туфы, лавы базальтов, диабазовых порфиритов и андезитов. Мощность свиты – 480–780 м.

*Кендерлыкская свита* ( $C_{2-3kp}$ ) сложена песчаниками, алевролитами, аргиллитами, пелитоморфными, ракушняковыми и оолитовыми известняками, горючими сланцами и, редко, анальцимизированными туфами (рисунок 3). Мощность свиты – 165–520 м.

Во второй половине среднего девона началось закрытие Обь-Жайсанского океанического бассейна. Образовалась зона субдукции, где происходило поглощение океанической коры по Казахстанский континент. В это же время начала действовать и Жарма-Сауырская островная дуга, в результате чего образовались мощные вулканогенные толщи позднего девона среднего карбона.

«Палеожайсанская» впадина, в средне-позднекаменноугольное время, представляла собой полуизолированную лагуну, связанную с морским бассейном через узкий пролив. Береговая линия располагалась в это время на территории современного Китая на расстоянии примерно 400 км от месторождения Кендерлык. Речные системы, впадающие в нее, в значительной степени влияли на химический состав воды, т.е. она была опресненной.

В верхнепалеозойское время в Сауыр-Маныражской подзоне Жайсанской складчатой системы в районах, сопредельных с бассейном седиментации, периодически проявлялась вулканическая деятельность, в процессе которой происходило излияние лав и туфолав среднего и основного состава, а также накопление различных туфогенных образований, относимых согласно классификации Л.Н. Ботвинкиной [131] к следующим группам:

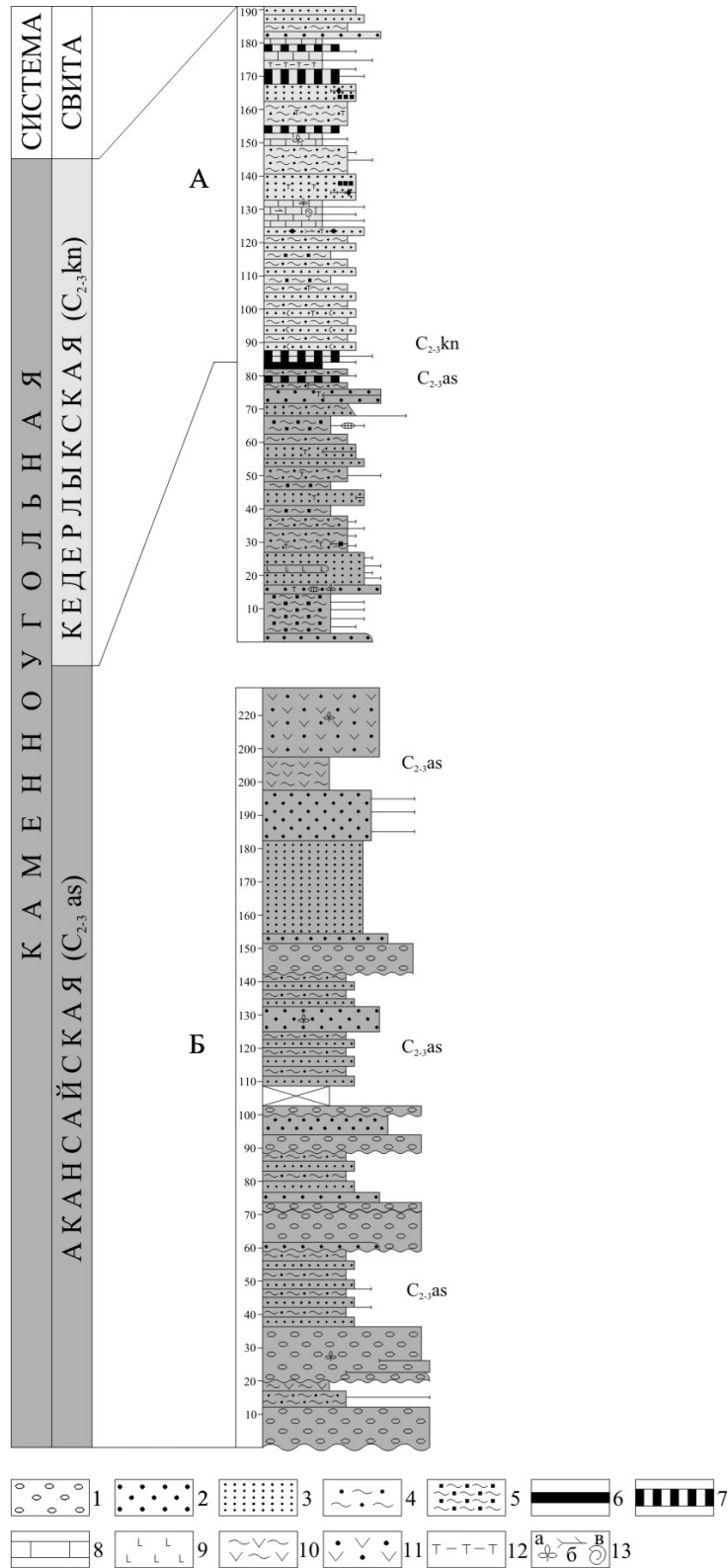
- 1) собственно-вулканические образования;
- 2) отложения взрывных пирокластических потоков;
- 3) собственно вулканогенно-осадочные образования;
- 4) вулканогенный пролювий.

Вышеперечисленным группам соответствуют четыре вулканогенно-осадочные фации:

1. *Фация лав и туфолав основного и среднего состава собственно вулканических образований.* Представлена она базальтами, диабазовыми порфиритами и флюидальными туфолавами среднего состава, которые приурочены к отложениям акансайской свиты, где слагают линзовидные пласты мощностью от 2 до 35 м. Породы фации пространственно залегают среди различных отложений аллювиального и озерного генезиса.

2. *Фация туфовых взрывных пирокластических потоков.* К образованиям этой фации относятся: витрокластические пепловые туфы (отложения пепловых потоков), кристаллокластические туфы среднего состава, анальцимизированные туфы. Последние слагают линзовидные пласты в кендерлыкской свите, а первые два типа туфов – в акансайской свите (рисунок 3). Все перечисленные породы встречены только в разрезе данных свит по р. Обалы.

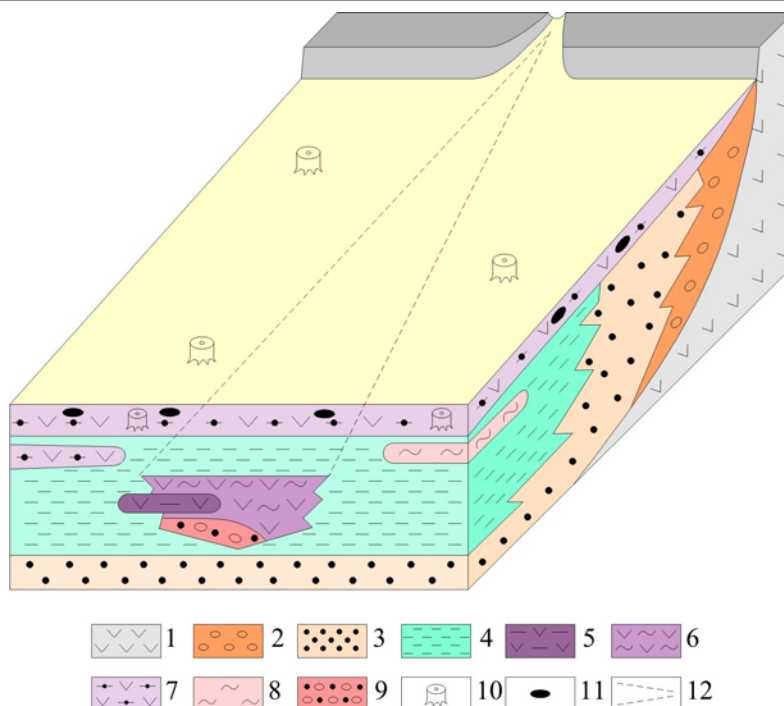
При прослеживании границ тела, сложенного витрокластическими пепловыми туфами, видно, что оно имеет в плане вытянутую вдоль русла р. Обалы форму и быстро выклинивается в западном и восточном направлениях, замещаясь при этом различными терригенными породами и туффиитами. Причем нормальный разрез свиты здесь отсутствует. Видимо, пепловые потоки текли по



Породы: 1 – конгломераты, 2 – песчаники, 3 – алевролиты, 4 – аргиллиты, 5 – углистые аргиллиты, 6 – угли, 7 – горючие сланцы, 8 – известняки, 9 – базальты и диабазы, 10 – туфолавы среднего состава, 11 – туфы среднего состава, 12 – анальцимизированные туфы, 13 – органические остатки: а – флора, б – рыб, в – двусторчатых моллюсков.

Рисунок 3 – Литолого-стратиграфические колонки отложений акансайской и кендерлыкской свит

Figure 3 – Lithology-stratigraphic sedimentation columns of Akansay and Kenderlik formations



1 – эффузивные породы среднего карбона (фундамент). Осадочные фации: 2 – аллювиально-пролювиальных конусов выноса (фангломератов), 3 – аллювиальные, 4 – центральной части озерных водоемов. 5 – Собственно вулканические фации: 5 – лав и туфолав основного и среднего состава. Вулканогенно-осадочные фации отложений взрывных пирокластических потоков: 6 – витрокластических пепловых туфов среднего состава раскаленных пепловых потоков, 7 – отложений туфов среднего состава палящих пепловых туч, 8 – собственно вулканогенно-осадочных отложений бентонитовых глин эруптивных пепловых туч, 9 – глыбовых конгломератов лахаровых отложений вулканогенного пролювия. 10 – погребенные вертикально стоящие стволы деревьев, 11 – вулканические бомбы, 12 – предполагаемое русло реки "Палеообалы".

Рисунок 4 – Блок диаграмма иллюстрирующая распределение и взаимоотношение отложений вулканогенно-осадочных фаций с вмещающими аллювиальными и озерными отложениями

Figure 4 – Block diagram illustrating the distribution and relationship of sediments of volcanic-sedimentary facies with enclosing alluvial and lacustrine sediments

желобу, совпадающему по направлению с современным руслом р. Обалы. Достигая бассейна седиментации, они внедрялись в отложившиеся ранее еще неконсолидированные осадки и при этом размывали и полностью замещали последние в разрезе. Взаимоотношение описываемых туфов с вмещающими породами показано на (рисунке 4). Вверх по разрезу витрокластические пепловые туфы перекрываются маркирующим горизонтом кристаллокластических туфов среднего состава, переполненных крупными и мелкими включениями обуглившихся с поверхности и окременных в центральных частях обломков стволов и веток древесины. В районе бывшей Титовской копи В.П. Нехорошевым были обнаружены вертикально стоящие пни (стволы) деревьев, указывающие на их прижизненное погребение [9]. Эти специфические породы прослеживаются в виде одиночного пласта мощностью от 8 до 25 м вдоль всего юго-западного крыла Кендерлыкской мульды. В верхней половине кендерлыкской свиты в разрезе по р. Обалы (рисунке 3) в интервале около 25 м отмечены многочисленные маломощные (1,0–5,0 см) слойки светло-серых, почти белых, анальцимизированных туфов. Их общая суммарная мощность достигает 7-8 м. Все вышеперечисленные литогенетические типы залегают в основном среди осадков озерных фаций.

3. *Фация бентонитовых глин вулканогенно-осадочных отложений эруптивных пепловых туч – ВО-БГ.* Отложения данной фации представлены одним литогенетическим типом, сложным щелочным диоктаэдрическим монтмориллонитом. Встречены данные породы на месторождении Кендерлык в средней части акансайской свиты в разрезе на водоразделе рр. Обалы и Караунгура, где слагают пласт мощностью до 8,0 м. Образование их связано с девитрификацией и гидролизом пеплового материала в пресноводных озерных условиях и преобразованием последнего в монтмо-

риллонит. Данные глины сильно засорены мелкозернистым алевритовым материалом, при этом они еще огипсованы, обохрены и окрашены в буроватые цвета, что объясняется низкой скоростью осадконакопления пепла. Залегают осадки описываемой фации обычно среди тонкозернистых пород озерного генезиса.

4. *Фация глыбовых конгломератов лахаровых отложений вулканогенного пролювия.* Специфические отложения грязекаменных потоков, связанных с деятельностью вулканов и называемые лахаровыми, встречены в Кендерлыкской мульде в самой нижней части разреза акансайской свиты по р. Обалы. Они представлены глыбовыми конгломератами, состоящими из разобценных между собой глыб, валунов и галек эффузивов и их туфов среднего состава. Обломки не сортированы, неравномерно распределены в породе и погружены в гравийно-песчаный и, реже, алевритово-песчаный заполнитель. Окатанностей, как правило, хорошая, поверхность гладкая и иногда бугорчатая. При этом ничего похожего на ледниковую штриховку не обнаружено. Не встречены также какие-либо слоистые текстуры. Размер псефитовых обломков колеблется от нескольких сантиметров до 4,0–5,0 м, но преобладают 30–50 см разности. Повсеместно и в больших количествах в породах отмечаются включения мелких и крупных обуглившихся с поверхности и окремненных внутри беспорядочно ориентированных обломков древесины. Отсутствие пустот в лахаровой толще свидетельствует о том, что поток был холодным [131, 132]. Залегают глыбовые конгломераты с размывом на нижележащих песчаниках этой же свиты в виде линзы длиной до 200 м и мощностью до 10,0 м, а вверх по разрезу перекрываются мощной толщиной витрокластических пепловых туфов фации эксплозивных пирокластических потоков.

Как было указано выше «Палеожайсанский» водоем в средне-позднекаменноугольное время представлял собой полуизолированную лагуну, в которой происходило накопление преимущественно тонкозернистых терригенных осадков. Глубина была небольшой и уровень воды постоянно колебался. В периоды низкого стояния уровня район превращался в обширную озерно-болотную равнину, где накапливались угленосные отложения. Наиболее ярко это проявилось в конце акансайского времени, когда впадина представляла собой обширную заболоченную низменность. Широкое распространение в то время, по данным С.В. Сухова [13], М.Ф. Микунова [14], В.А. Вахромеева [15] приобрела влаголюбивая тунгусская флора, проникшая в Казахстан из Ангариды и пришедшая на смену лепидофитовой флоре Вестфальской провинции, господствовавшей на данной территории в раннем и начале среднего карбона.

По всей видимости, в конце московского века произошел подъем уровня воды, видимо связанный с резким прогибанием земной поверхности и, как следствие, увеличение площади залива. В региональном плане трансгрессий моря в это время не отмечалось. Об этом свидетельствуют пласты известняков, залегающих на гравелитах аллювиального генезиса или гранитоидах сауырского комплекса и горючих сланцев, непосредственно перекрывающих угленосные толщи, а также вертикально захороненные стволы деревьев. Эти отложения уже относятся к осадкам кендерлыкской свиты.

Нужно отметить, что угли и горючие сланцы никогда не образуют смешанных пластов, так как они формируются в различных фациальных обстановках. Образование пластов горючих сланцев кендерлыкской свиты происходило в довольно крупном водоеме, при интенсивном при вносе пеплового материала. В это время сформировались наиболее кондиционные из всех известных в районе сланцы, слагающие пласты Калынкара и Верхний в Кендерлыкской мульде и продуктивную толщу месторождения Караадыр, представляющие интерес для промышленности. Здесь следует отметить, что основу керогена в горючих сланцев, составляют продукты физико-химического преобразования фитопланктона.

Интенсивному развитию фитопланктона, как указывают в своих работах А.С. Левин [145], А.В. Ван и Ю.П. Казанский [105, 146], Н.В. Лопатин [147] и многие другие авторы, способствует поступление в бассейны седиментации пеплового материала и минерализованных вод, являющихся продуктами вулканической деятельности. Бурный расцвет планктона обуславливается поступление вместе с вулканическим пеплом большого количества легкоусвояемых микроорганизмами веществ, стимулирующих их размножение и рост. Механизм накопления органического вещества наглядно иллюстрируется на примере осадков в областях современного вулканизма, где под каждым слоем вулканического пепла отмечается резкое увеличение в осадках содержания глинистой

фракции и органического углерода, а также азота и фосфора. С другой стороны, судьба органического вещества в породе теснейшим образом связана с трансформацией глинистых минералов, которые оказывают каталитическое воздействие на превращения органического вещества [145]”.

Таким образом, четко прослеживается связь накопления пластов горючих сланцев с проявлениями вулканической деятельности в районе. Так как «Палеожайсанский» водоем имел значительные размеры, можно предположить, что существует большая вероятность обнаружения новых залежей горючих полезных ископаемых, перекрытых чехлом кайнозойских осадков в пределах Жайсанской Шиликтинской впадин и северо-западного окончания хребта Манырак, где в верхнепалеозойское время существовали благоприятные условия для их накопления.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Василенко В.К. Геологическая история Зайсанской впадины. – Л., 1961. – 276 с.
- [2] Кагарманов А.Х. Стратиграфия, палеогеография и осадочные формации среднего и верхнего палеозоя Восточного Казахстана: Автореферат докт. диссертации. – Л., 1981. 46 с.
- [3] Кумпан А.С. Верхний палеозой Восточного Казахстана. – Л., 1966. – 247 с.
- [4] Фазылов Е.М. Фации и цикличность отложений верхнего палеозоя месторождения Кендерлык // Изв. АН КазССР. Сер. геол. – 1988. – № 3. – С. 29-36.
- [5] Фазылов Е.М., Хомяков В.А. Циклостратиграфия угленосных отложений верхнего палеозоя южного обрамления Зайсанской впадины // Вестник КазГАСА. – 2003. – № 2(8). – С. 141-147.
- [6] Фазылов Е.М., Хомяков В.А. Литогенетические типы вулканогенно-осадочных фаций каменноугольных и пермских отложений хребтов Саур, Сайкан и Манрак // Вестник КазГАСА. – 2003. – № 1(7). – С. 109-116.
- [7] Хисамутдинов М.Г., Авров Д.П., Василевская Е.Д. Геологические формации Зайсанской складчатой области. – М., 1972. – 230 с.
- [8] Фазылов Е.М., Хомяков В.А., Постригань Т.А. Палеогеографические условия образования и основные закономерности осадконакопления отложений верхнего палеозоя Саур-Манракской подзоны Зайсанской складчатой системы // Вестник КазГАСА. – 2004. – № 3(15). – С. 135-142.
- [9] Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. – М., 2005. – 560 с.
- [10] Мияширо А., Аки К., Шенгер А. Орогенез. – М., 1985. – 288 с.
- [11] Бетехтина О.А. Двустворчатые моллюски позднего палеозоя Кендерлыкской мульды // Фауна и стратиграфия среднего и верхнего палеозоя Сибири. – Новосибирск, 1979. – С. 62-82.
- [12] Люткевич Е.М., Лобанова О.В. Пелециподы из нижнепермских отложений Северного и Восточного Казахстана // В кн. Палеонтологический сборник. – Л., 1960. – Вып. 154. – № 2. – С. 167-195.
- [13] Сухов С.В. Материалы к изучению палеозойской флоры Кендерлыкской и Зайсанской впадин. (Восточный Казахстан) // Материалы по геологии и нефтеносности Западной Сибири. – Л., 1958. – С. 211-239.
- [14] Микунов М.Ф. Стратиграфия и характерные комплексы ископаемой флоры верхнепалеозойских отложений Иртыш-Зайсанской складчатой зоны: Автореферат канд. дис. – М., 1963. – 26 с.
- [15] Вахромеев В.А. и др. Палеозойские и мезозойские флоры Евразии и флоростратиграфия того времени. – М., 1979. – 426 с.
- [16] Фазылов Е.М., Гойколова Т.В. Постдиагенетические преобразования пород верхнего палеозоя Кендерлыкской мульды // Петрология и минералогия Казахстана и Средней Азии. – Алма-Ата, 1990. – С. 51.

#### REFERENCES

- [1] Vasilenko V. K. Geological history of the Zaisan depression. L., 1961. 276 p.
- [2] Kagarmanov A. H. Stratigraphy, paleogeography and sedimentary formations of the Middle and Upper Paleozoic in Eastern Kazakhstan. The author's abstract of the doctor's dissertation. L., 1981. 46 p.
- [3] Kumpan A.S. The Upper Paleozoic of Eastern Kazakhstan. L., 1966. 247 p.
- [4] Fazylov E.M. Facies and cyclicity of the Upper Paleozoic deposits of the Kenderlyk field.// News of NA KazSSR. Ser. Geol. 1988. N 3. P. 29-36.
- [5] Fazylov E.M., Khomyakov V.A. Cyclostratigraphy of coal-bearing deposits of the Upper Paleozoic of the southern border of the Zaisan depression // The Bulletin of KazGASA. 2003. N 2(8). P. 141-147.
- [6] Fazylov E.M., Khomyakov V.A. Lithogenetic types of volcanogenic-sedimentary facies of Carboniferous and Permian sediments of the Saur, Saikan and Manrak ridges // The Bulletin of KazGASA. 2003. N 1(7). P. 109-116.
- [7] Khisamutdinov M.G., Avrov D.P., Vasilevskaya E.D. Geological formations of the Zaisan folded region. M., 1972. 230 p.
- [8] Fazylov E.M., Khomyakov V.A., Postriгань T.A. Paleogeographic conditions of formation and main regularities of sedimentation of Upper Paleozoic deposits of the Saur-Manraks subzone of the Zaisan fold system // Bulletin of KazGASA. 2004. N 3(15). P. 135-142.
- [9] Khain V.E., Lomize M.G. Geotectonics with the basics of geodynamics. M., 2005. 560 p.
- [10] Miyashiro A., Aki K., Shenger A. Orogenesis. M., 1985. 288 p.
- [11] Betekhtina O.A. Bivalvia mollusks of the late Paleozoic of Kenderlik // Fauna and stratigraphy of the Middle and Upper Paleozoic of Siberia. Novosibirsk, 1979. P. 62-82.

[12] Lytkovich E.M., Lobanova O.V. Pelecypods of the Lower Permian deposits of Northern and Eastern Kazakhstan // Paleontological collection. L., 1960. Issue. 154. N 2. P. 167-195.

[13] Sukhov S.V. Materials for the study of the Paleozoic flora of the Kenderlik and Zaysan basins. (East Kazakhstan) // Materials of the geology and oil content of Western Siberia. L., 1958. P. 211-239.

[14] Mikunov M.F. Stratigraphy and specific complexes of the fossil flora of the Upper Paleozoic deposits of the Irtysh-Zaisan folded zone. The author's abstract of the aspirant dissertation. M., 1963. 26 p.

[15] Vakhromeev V.A. Paleozoic and Mesozoic floras of Eurasia and phytostратigraphy of that time. M., 1979. 426 p.

[16] Fazylov E.M., Goikolova T.V. Postdiagenetic transformations of the Upper Paleozoic rocks of the Kenderlyk trough // Petrology and mineralogy of Kazakhstan and Central Asia. Alma-Ata, 1990. 51 p.

**Е. М. Фазылов, Э. С. Мусина**

Қ. И. Сәтбаев атындағы Геология ғылымдар институты, Алматы, Қазақстан

**КЕНДЕРЛІ КЕНОРНЫНЫҢ ЖАНАРТАУ ТЕКТІК-ШӨГІНДІ ФАЦИЯЛАРЫ,  
ОРТАҢҒЫ-КЕЙІНГІ ТАСТЫ-КӨМІРҚАБАТТАРЫ ЖӘНЕ ЖАНҒЫШ ТАҚТАТАСТАР  
ҚАБАТТАРЫНЫҢ ҚҰРЫЛУДАҒЫ РӨЛІ**

**Аннотация.** Кендірлі кен орнының жанартаутектік-шөгінді фациялар түзілімінің, ортаңғы-кейінгі тасты-көмір қабаттарының сипаттамасы келтірілген. Бұл кезеңде ортаңғы және негізгі құрамаға лавалармен туфлавалар ағындылары болған, сонымен қатар әртүрлі туфтексті жиынтықтар байқалады, оларды келесідей топқа жатады: негізгі жанартаутектік құрылымдар, пирокластиалық тасқындарының эксплозиялық қабаттары, негізгі жанартаутектік-шөгінді және жанартаутектік пролювийлер. Бұл топқа төрт жанартаутектік-шөгінді фациялар: лава фациялары және негізгі туфлавалар және орташа құрамдағы негізгі жанартаутектік құрылымдар, пирокластиалық тасқындарының эксплозиялық қабаттары, бентонит сазы жанартаутектік-шөгінді қабаттарының эруптивті күлді туф фациялары, жанартаутектік-пролюви тасжақпар конгломератының лахар түзілімдернің фациялары.

Палеожайсан су қоймасы ортаңғы-кейінгі тасты көмір кезеңіндегі жартылай оқшауланған шағын мүйіс көрсетілген, айрықша ұсақ түйіршікті теригенді қалдықтарының жинақталуы болған. Кей-кезде спецификалық жағдайлар болып тұрған, жанғыш тақтатастар қабаттарының құрылуына оңтайлы болған. Жанартау тектік қызметтер планктондардың кең ауқымда өркендеуіне әсер еткен, жанартаутектік күлдердің көп мөлшері жеңіл сіңірілетін микроағзалардың болуымен байланысты, олардың өсіп көбеюін ынталандырады. Келесідей көмілулер және органикалық заттардың керогенге айналуы және теригенді материалдрадың бірігіп тұндырылып бөлінуі жанғыш тақтастар қабатының пайда болуына әкеп соқты.

**Түйін сөздер:** жанғыш тақтастар, кероген, ортаңғы-кейінгі тасты-көмір қабат, жоғарғы палеозой, Жарма-Сауыр аймағы, Кендірлі кен орны, фация, жанартаутектік-шөгінді қабаттар.



## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES**

ISSN 2224-5278

Volume 4, Number 424 (2017), 65 – 76

UDC 550.36

**V. D. Vyalov, S. M. Kan, Sh. G. Kurmangaliyeva**

LLP "Institute of Hydrogeology and Geocology named after U. M. Akhmedsafin", Almaty, Kazakhstan

## **GEOHERMAL FIELD SEDIMENTARY COVER CHUNDZHA-DUBUN PROTRUSION (ZHARKENT DEPRESSION)**

**Abstract.** Conducted analysis results of geothermal researches aquifer below the base neutral layer. The starting material for geothermal research were thermograms, taken by wells in the depth interval from 20 m to slaughtering (3000 m). It is shown that in general, normal distribution of the geothermal field by area Zharkent depression disturbed within Dubun raising his anomaly high values. Anomaly has asymmetrical shape elongated in latitudinal direction on for over 100 km. Western boundary its are mountains Bugutty and Toraigyry, in the east it is closed in the region state border with China.

An analysis of geothermic profile, extending in the cross stretch thermal anomaly shows that within the zones of tectonic disturbances latitudinal stretch observed ascending flows deep fluid up to near-surface zone. It is concluded that in geothermic field hydrogeological active faults should be shown not monotonically high values of geothermic parameters as until now it was thought and stretched anomalies of variable sign.

**Keywords:** Zharkent depression, Chundzha-Dubensky protrusion, sedimentary cover, geothermal field.

Structural position Zharkent depression among folded structures of the Northern Tien Shan, geomorphological and climatic features of the area, availability in sectional the sedimentary cover of thick strata sandy sediments have caused existence here of a large artesian basin, having a closed hydrodynamic regime [1, 2].

Temperature of rocks depends on exogenous (climate) and endogenous (geological and tectonic) factors, combination of which causes geothermal and zoning of the Earth's bowels.

The seasonal variations in temperature cover only upper aquifers without tracing deeper of neutral layer, where temperature of rocks is constant.

According to data regime observations conducted in 1968-69 yy. in Zharkent depression Kan M.S. has revealed dependence depth of occurrence neutral layer from relief, climate and hydrodynamic factors [3]. In general, as one moves from of bead portions to the center depressions depth of occurrence soles of neutral layer decreases from 50 to 20 m and temperature increases from 11 to 13°C.

The starting material for geothermal research were thermograms, taken by wells in the depth interval from 20 m to slaughtering (3000 m) (figure 1).

In general normal distribution of geothermal field by areas Zharkent depression disturbed within Dubun raising anomalous high its values (figure 2).

In the ancient structures of the Paleozoic basement Dubun zone had experienced strong influence of neotectonic movements, was considerable differentiation of geothermic parameters. As a result large movements of individual blocks on system of tectonic fractures was formed geothermic anomaly

associated with discharge of groundwater, carrying masses heat from great depths. Anomaly has asymmetrical shape elongated in the east-west direction for over 100 km. The western boundary it are mountains Bugutty and Toraigr, in the east it is closed in the region of state border with China. From the north and south of anomaly is limited to tectonic dislocations, which are likely to be and structural boundaries Dubun protrusion.

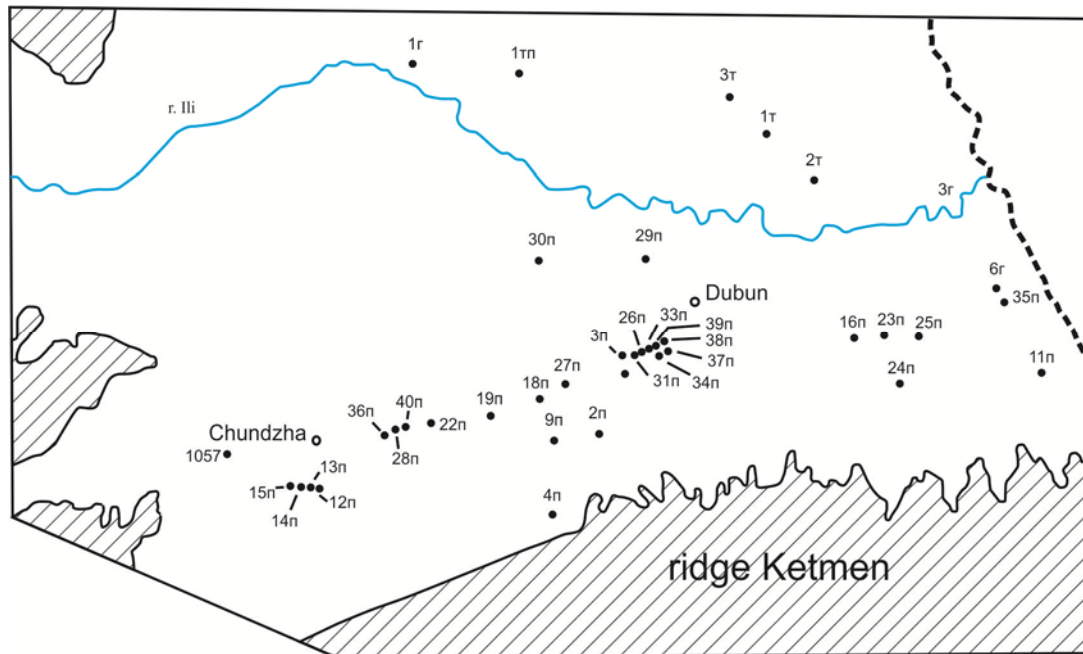
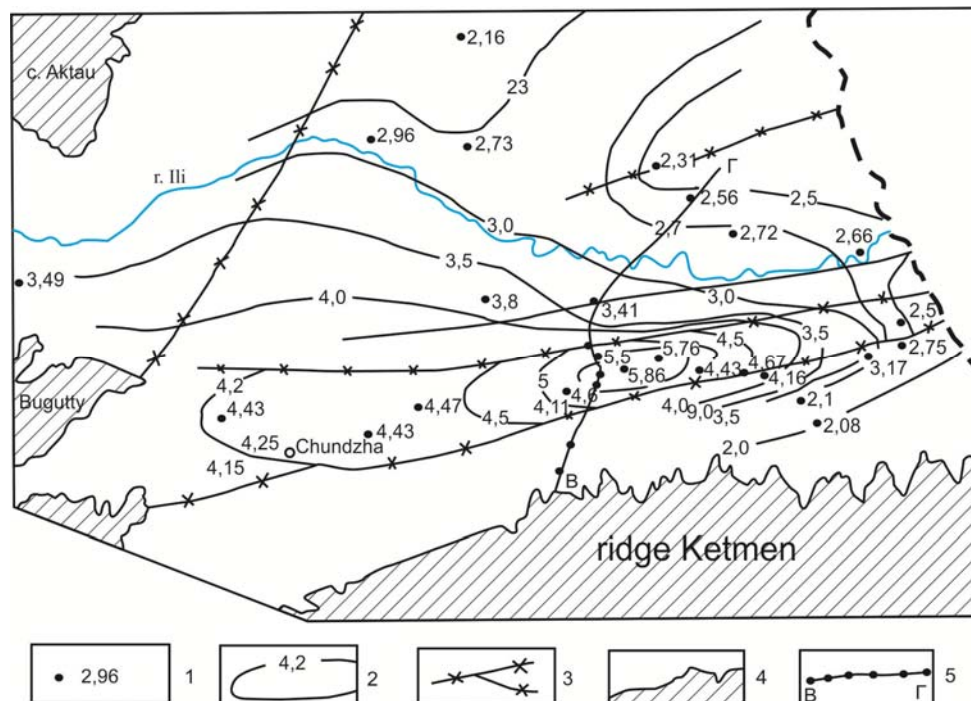


Figure 1 – Scheme of well locations which produced definition temperature of rocks



1 – well, which were conducted measurements of temperature, right from sign value of geothermal gradient, °C/100 m; 2 – isolines geothermal gradient, °C/100 m; 3 – tectonic faults; 4 – exposures of Paleozoic rocks onto day surface; 5 – line of hydrogeothermic profile.

Figure 2 – Geothermal map of the southern part Zharkent depressions

In the ancient structures of the Paleozoic basement Dubun zone had experienced strong influence of neotectonic movements, was considerable differentiation of geothermic parameters. As a result large movements of individual blocks on system of tectonic fractures was formed geothermic anomaly associated with discharge of groundwater, carrying masses heat from great depths. Anomaly has asymmetrical shape elongated in the east-west direction for over 100 km. The western boundary it are mountains Bugutty and Toraigyr, in the east it is closed in the region of state border with China. From the north and south of anomaly is limited to tectonic dislocations, which are likely to be and structural boundaries Dubun protrusion.

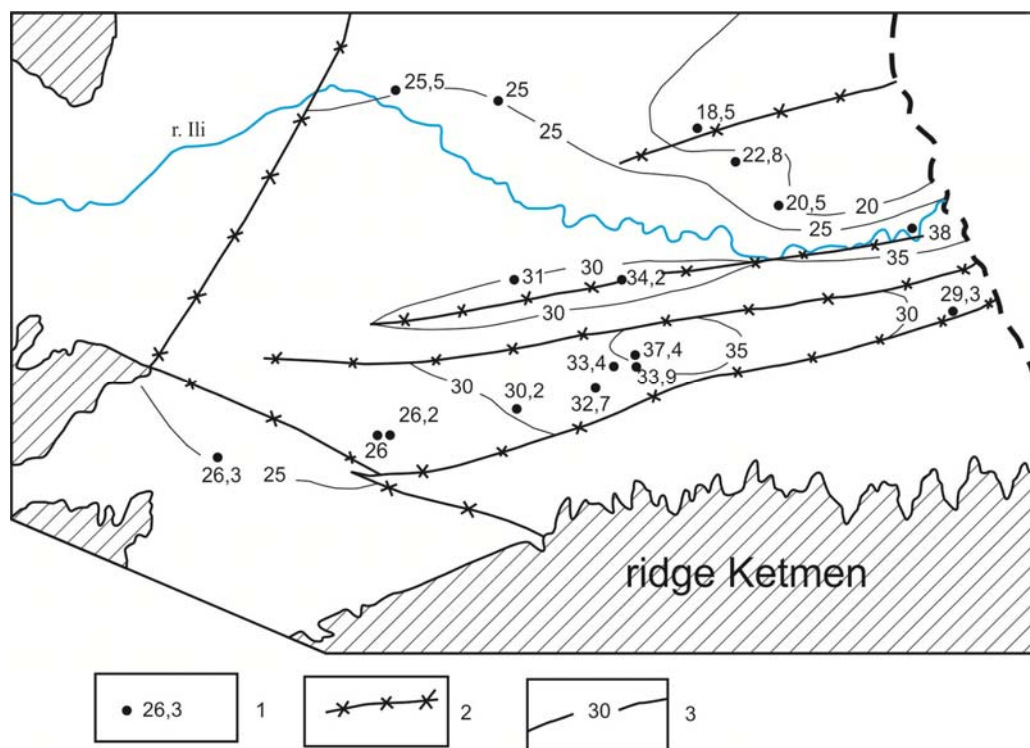
In the central part (dome) thermal anomaly in the region of v. Dubun, quantities geothermal gradient have maximum for whole structure values, reaching 5,8-6,0°C/100 m (figure 2).

In the western part of the structure is observed a great warm up rocks, there is a gradient values are within 4,4-4,7°C/100 m, almost unchanged over the whole area.

In the eastern part of the thermal anomaly is observed gradual decrease of the gradient of 4,6 to 2,5°C/100 m.

In the northern and south of Dubun zone, as the distance from places unloading groundwater, there has been sharp decline the geothermal gradient of 2,0 to 2,5°C/100 m.

The temperature of rocks at the depth of 500 m the cut shows projection of the temperature field to a depth within the protrusion (figure 3).



1 – well, in which carried determination temperature, at the mark - value of temperature °C, 2 – tectonic faults, 3 – isohypses temperature rocks

Figure 3 – Temperature of rocks at the cut depth of 500 m

When analyzing thermo of logging diagrams wells identified the following regularities.

Temperatures curves of wells located in the fault zones (wells 29p, 38p, 37p and others) have convex character, indicating that the vertical motion of groundwater on the tectonic faults in Dubun zone. Only near-surface part of section, at the depth of 180–200 m, hydrothermal vents conveyed over in good penetrable quaternary sediments (figure 4).

Another character have temperature curves wells located outside the zones of tectonic disturbances. There is observed gradual increase temperature with depth (wells 1p, 30p and others), which indicates stationary geothermic regime of these zones (figure 4).

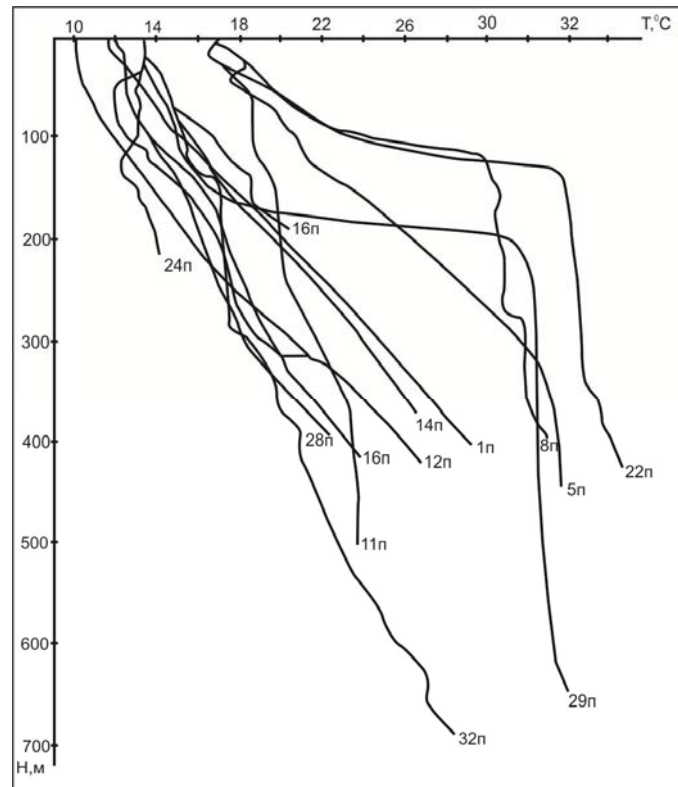


Figure 4 – Thermo of logging diagrams by wells central part of Dubun raising

Finally the third type of temperature curves observed at the study areas has in the upper part concave character (wells 19p, 5p, 9p and others). Analysis of hydrogeological conditions shows that it is typical for wells located in an alleged area of nutrition, in the region v. Chundzha and evidence of the strong cooling effect groundwaters on surrounding sediments (figures 5, 6).

The temperature field outside the zone Chundzha-Dubun raising has a different character. There is observed normal increase temperature of sedimentary rocks with depth up to Paleozoic basement (figure 7).

Analyzing geothermic profile extending into the cross trending thermal anomaly (figure 8), can be seen that within the zones of tectonic disturbances are observed latitudinal trending ascending flows deep fluid up to near-surface zone. As a result of disjunctives faults constitute comparatively well penetrable

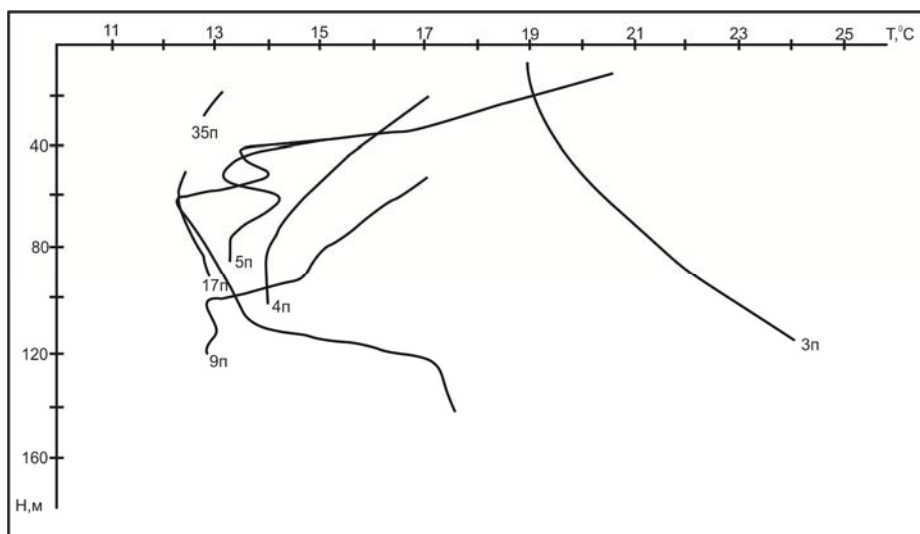


Figure 5 – Thermo of logging diagrams by wells Dubun raising (area power supply aquifers)

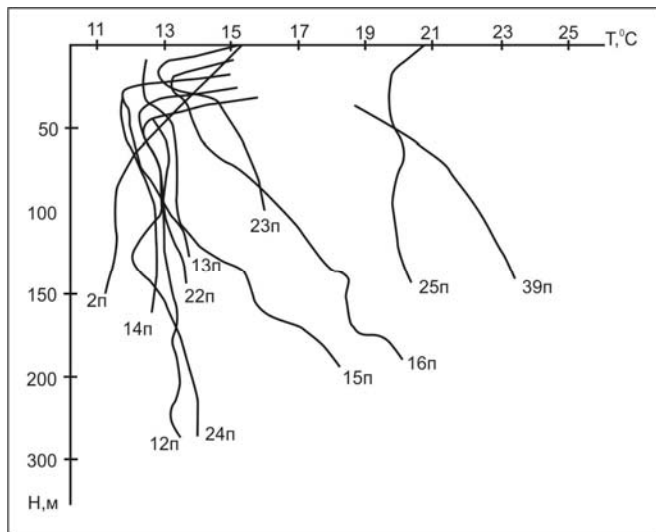


Figure 6 – Thermo of logging diagrams by wells Dubun raising (area power supply aquifers)

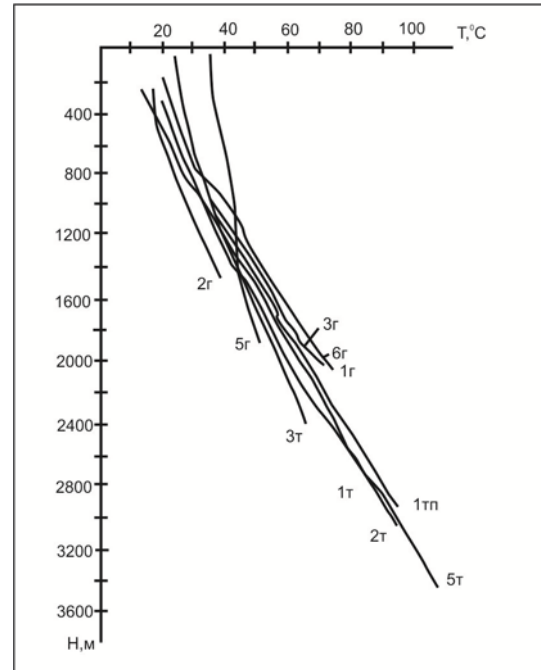
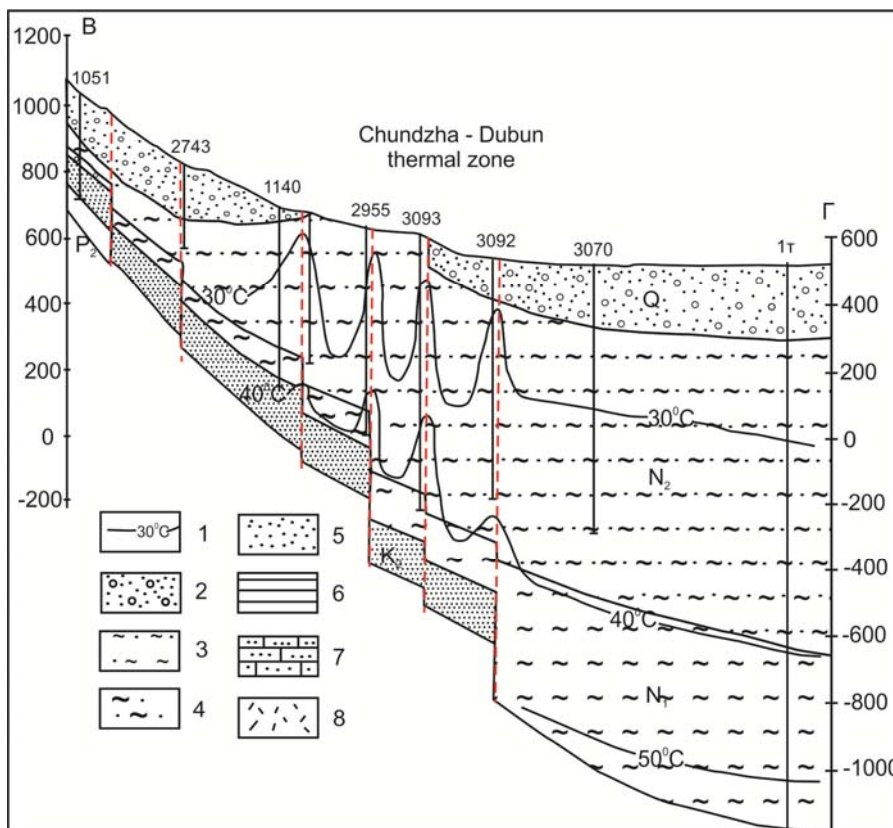


Figure 7 – Thermo of logging diagrams a deep wells the central part of Zharkent depressions



1 – thermo isohypses sedimentary rocks, °C; 2 – boulder and pebble sediments with sandy filler; 3 – clays with thin interbeds sands and boulder-pebble; 4 – clays with lenses of sands and interbeds sandstones; 5 – sands and sandstones; 6 – clays argyle-lithosimilar with occasional interbeds of aleurolites, aleurites and sandstones; 7 – sandstones inequigranular; 8 – tuff sandstones, tuff conglomerates.

Figure 8 – Geothermal section of central part of Chundzha-Dubun thermo anomaly by line B-G

zone that is confirmed by anomalous flows of helium over them. In the sense of heat and mass transfer faults satisfactorily modeled by formation system assigned vertically [7].

In the geothermic field hydrogeological active faults must appear not monotonically high values of geothermic parameters as until now it was thought, elongated anomalies of variable sign.

Thus, faults are manifested in geothermic field not positive anomalies, as until now it was considered and chain anomalies variable sign in any case, if they are hydrogeological active [8].

Differences of temperature field, inherent one or another geological structures, apparently are distributed to the entire earth crust.

On the Kola peninsula within the first kilometer were observed very low temperatures - at the depth of 800 m all about 10° C. In the Kola well temperature at the depth of 7200 m reaches 120°C, indicating on the marked increase geothermic gradient with depth [9].

To identify signs of juvenile feeding of modern hydrothermal systems is necessary, first of all establish, what factors may cause heating given the aquifer system. For this is necessary estimate the range formation of hydrothermal system and heating capacity of all its hearths unloading. Such assessment shows that thermal parameters of nitrogen, methane and carbon dioxide hydrothermal fluids can be provided when removing part of regional conductive heat flow [10-12].

#### REFERENCES

- [1] Zhevago V.S. Hydrogeotermic conditions of Kazakhstan // Reports all union hydrogeological conference in Yerevan. M.: Nedra, 1963. P. 45-58.
- [2] Zhevago V.S., Kan M.S., Bondarenko N.M., Aleshchenko G.R. Heating regime and hydrothermal energy subsoil of South Kazakhstan. Almaty KazSSR: Science, 1958. P. 167.
- [3] Bondarenko N.M., Sydykov J.S. Regularities changes temperature of neutral layer in Kazakhstan // Proceedings AS of the Kazakh SSR. Ser. geol. 1967. N 5. P. 34-48.
- [4] Kan M.S. Geothermal conditions Ili depression: In the book: Hydrochemistry and hydrothermal groundwater Kazakhstan. Almaty KazSSR: Science, 1969. P. 71-85.
- [5] Kan M.S. Hydrogeotermic conditions tracts Karadala in the Ili basin // Problems of hydrogeology Kazakhstan. Almaty, 1974. P. 168-171.
- [6] Sardarov S.S., Savina E.V. Geothermic field of fault// Reports AN SSSR. 1984. Vol. 276, N 5. P. 1091-1094.
- [7] Brezgunov V.S., Nechaev V.V. and others. About genesis thermal waters of North Kyrgyzstan by isotope data // Bulletin AN SSR. Series Physics.-tehn. and mat. sciences. 1987. N 3. P. 39-54.
- [8] Suetnov V.V., Sardarov S.S. Geothermal exploration method of variation of heat flow: Abstract of the thesis Doctor. geol.-min. sciences. M.: MGRI, 1975. P. 41.
- [9] Kola ultradeep. The research of deep structure the continental crust by drilling Kola ultradeep well / Chief editor Kozlovsky E.A. M.: Nedra, 1984. P. 490.
- [10] Kononov V.I., Polyak B.G. Geochemistry of thermal water areas modern volcano. 1983. Issue 379. P. 32-51.
- [11] Polyak B.G., Smirnov Y.B. Heating flow on the continents // DAN SSSR. 1968. N 1. P. 170-172.
- [12] Borisenko I.M., Korsak V.A. Evaluation faults of active tectonic zones and identifying deposits of thermal waters // Thesis of reports of All-Union Council of groundwater East SSSR. Irkutsk, 1988. P. 61.

В. Д. Вялов, С. М. Кан, Ш. Г. Курмангалиева

ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина», Алматы, Казахстан

## ГЕОТЕРМИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА ЧУНДЖА-ДУБУНСКОГО ВЫСТУПА (ЖАРКЕНТСКАЯ ВПАДИНА)

**Аннотация.** Проведен анализ результатов геотермических исследований водоносных горизонтов ниже подошвы нейтрального слоя. Исходным материалом для геотермических исследований являлись термограммы, снятые по скважинам в интервале глубин от 20 м до забоя (3000 м). Показано, что в целом нормальное распределение геотермического поля по площади Жаркентской депрессии нарушается в пределах Дубунского поднятия аномально высокими его значениями. Аномалия имеет асимметричную форму, вытянутую в широтном направлении на протяжении более 100 км. Западной границей ее являются горы Бугутты и Торайгыр, на востоке она закрывается в районе государственной границы с КНР.

Анализ геотермического профиля, проходящего в крест простирания термоаномалии, показывает, что в пределах зон тектонических нарушений широтного простирания наблюдаются восходящие потоки глубинных гидротерм вплоть до приповерхностных зон. Делается вывод, что в геотермическом поле гидрогеологически активные разломы должны проявляться не монотонно высокими значениями геотермических параметров, как до сих пор считалось, а вытянутыми аномалиями переменного знака.

**Ключевые слова:** Жаркентская впадина, Чунджа-Дубунский выступ, осадочный чехол, геотермическое поле.

Структурное положение Жаркентской депрессии среди складчатых сооружений Северного Тянь-Шаня, геоморфологические и климатические особенности района, наличие в разрезе осадочного чехла мощных толщ песчаных отложений обусловили существование здесь крупного артезианского бассейна, имеющего замкнутый гидродинамический режим [1,2].

Температура пород зависит от экзогенных (климатических) и эндогенных (геолого-тектонического) факторов, сочетание которых и обуславливает геотермическую зональность земных недр.

Сезонные колебания температуры охватывают лишь верхние водоносные горизонты, не прослеживаясь глубже нейтрального слоя, где температура пород постоянна. По данным режимных наблюдений, проведенных в 1968–1969 гг. в Жаркентской депрессии, Кан М.С. выявил зависимость глубин залегания нейтрального слоя от рельефа, климатических и гидродинамических факторов [3]. В целом, по мере продвижения от бортовых частей впадины к центру глубина залегания подошвы нейтрального слоя уменьшается от 50 до 20 м, а температура возрастает от 11 до 13<sup>0</sup> С.

Исходным материалом для геотермических исследований ниже подошвы нейтрального слоя являлись термограммы, снятые по скважинам в интервале глубин от 20 м до забоя (3000 м) (рисунок 1).

В целом нормальное распределение геотермического поля по площади Жаркентской депрессии нарушается в пределах Дубунского поднятия аномально высокими его значениями (рисунок 2).

В древних структурах палеозойского фундамента Дубунской зоны, испытавших сильное влияние неотектонических движений, отмечается значительная дифференциация геотермических показателей. В результате крупных подвижек отдельных блоков по системе тектонических разрывов образовалась геотермическая аномалия, связанная с разгрузкой подземных вод, выносящих массы тепла с больших глубин.

Аномалия имеет асимметричную форму, вытянутую в широтном направлении на протяжении более 100 км. Западной границей ее являются горы Бугутты и Торайгыр, на востоке она закрывается в районе государственной границы с КНР. С севера и юга аномалия ограничивается тектоническими нарушениями, которые, скорее всего, являются и структурными границами Дубунского выступа.

В центральной части (куполе) термоаномалии, в районе п. Дубун, величины геотермического градиента имеют максимальные для всей структуры значения, достигая 5,8-6,0 °С/100 м (рисунок 2).

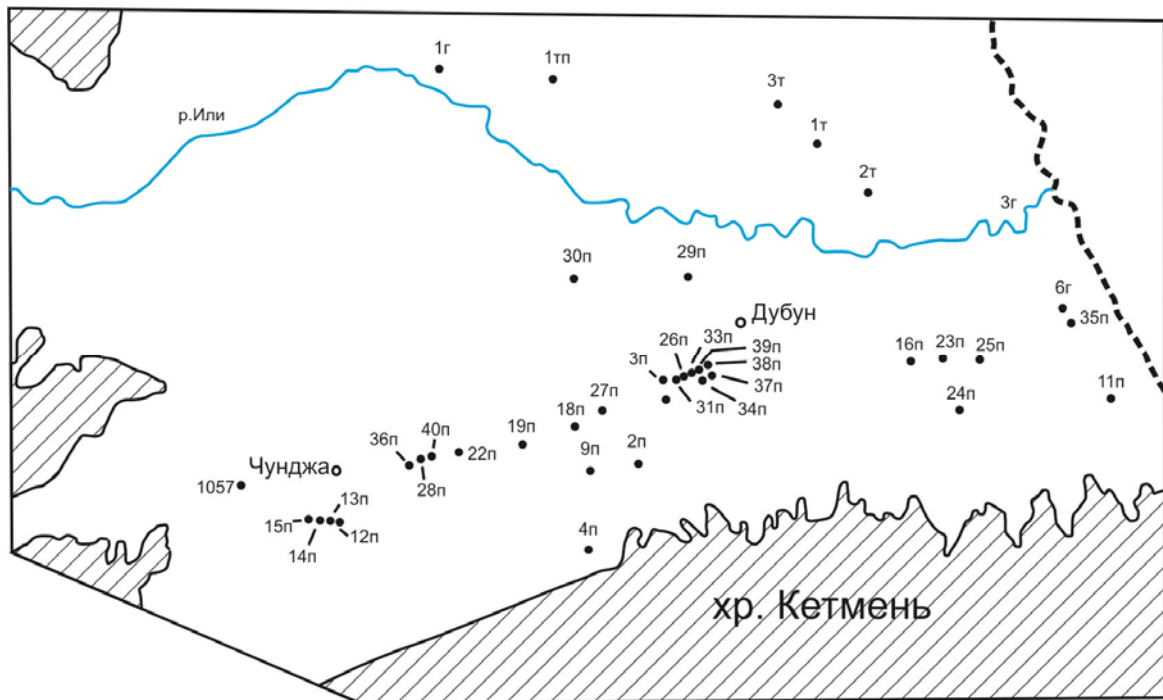
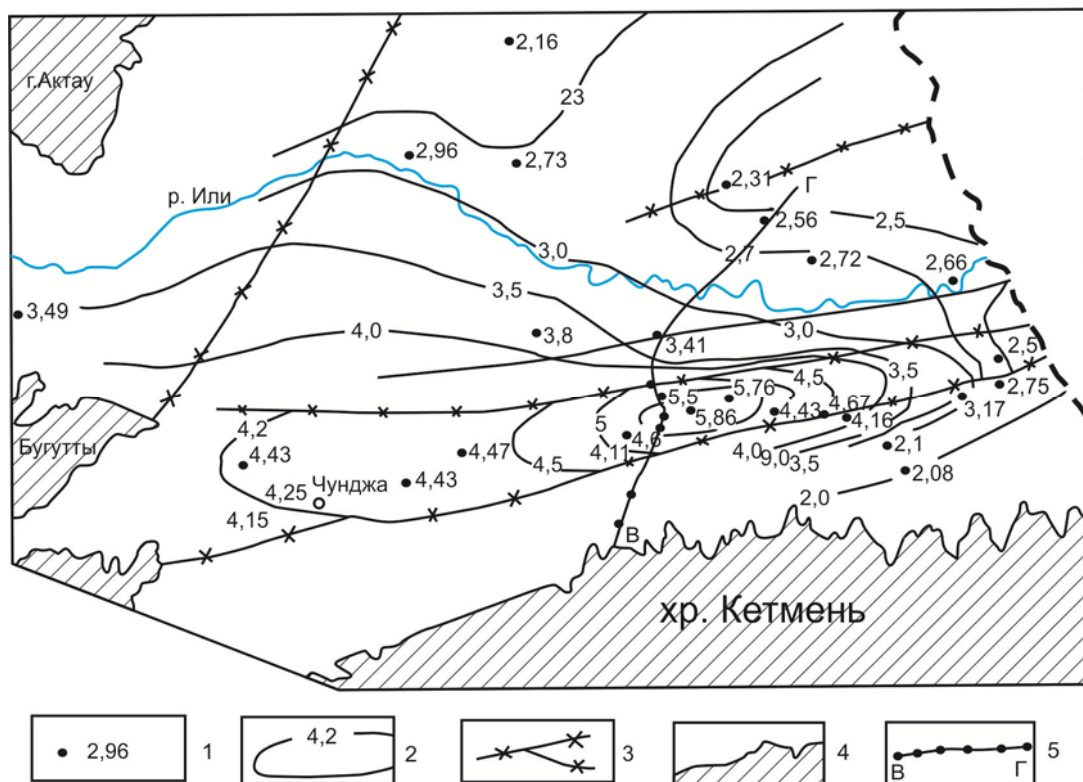


Рисунок 1 – Схема расположения скважин, в которых производилось определение температуры пород



1 – скважина, в которой проводились замеры температуры, справа от знака- значение геотермического градиента, °C/100 м; 2 – изолинии геотермического градиента, °C/100 м; 3 – тектонические нарушения; 4 – выходы палеозойских пород на дневную поверхность; 5 – линия гидрогеотермического профиля

Рисунок 2 – Геотермическая карта южной части Жаркентской впадины



В западной части структуры наблюдается большая прогретость пород, здесь значения градиента находятся в пределах 4,4-4,7 °C/100 м, почти не изменяясь по всей площади.

В восточной части термоаномалии наблюдается постепенное снижение градиента от 4,6 до 2,5 °C/100 м.

В северном и южном направлении от Дубунской зоны, при удалении от мест разгрузки подземных вод, наблюдается резкое снижение геотермического градиента до 2- 2,5 °C/100 м.

Температура пород на глубине среза 500 м показывает проекцию температурного поля на глубину в пределах выступа (рисунок 3).

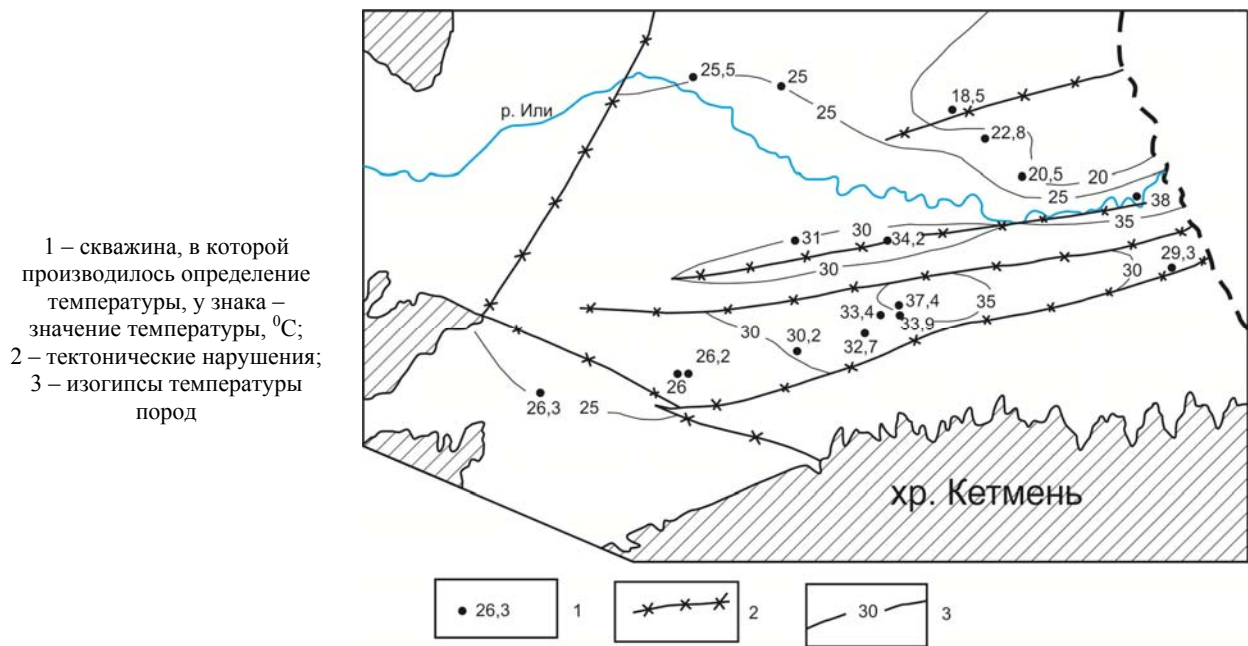
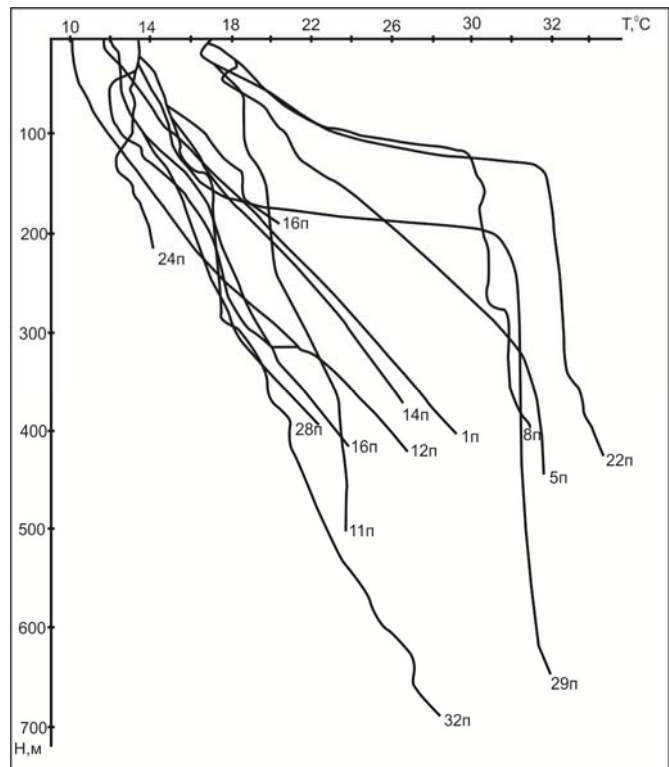


Рисунок 3 – Температура пород на глубине среза 500 м

Рисунок 4 –  
Термокаротажные диаграммы  
по скважинам центральной части  
Дубунского поднятия



При анализе термокаротажных диаграмм скважин выявлены следующие закономерности.

Температурные кривые скважин, расположенных в зонах разломов (скважины 29п, 38п, 37п и др.), имеют выпуклый характер, что свидетельствует о вертикальном движении подземных вод по тектоническим нарушениям в Дубунской зоне. И только в приповерхностной части разреза, на глубине 180–200 м, гидротермы растекаются в хорошо проницаемые четвертичные отложения (рисунок 4).

Другой характер имеют температурные кривые скважин, расположенных вне зон тектонических нарушений. Здесь наблюдается постепенное повышение температуры с глубиной (скважины 1п, 30п и др.), что говорит о стационарном геотермическом режиме этих зон (рисунок 4).

И, наконец, третий вид температурных кривых, наблюдаемый на исследуемой площади, имеет в верхней части вогнутый характер (скважины 19п, 5п, 9п и др.). Анализ гидрогеологической обстановки показывает, что это характерно для скважин, расположенных в предполагаемой области питания, в районе п. Чунджа, и свидетельствует о сильном охлаждающем воздействии подземных вод на окружающие отложения (рисунок 5, 6).

Температурное поле вне зоны Чунджа-Дубунского поднятия имеет иной характер. Здесь наблюдается нормальное повышение температуры осадочных пород с глубиной, вплоть до палеозойского фундамента (рисунок 7).

Анализируя геотермический профиль, проходящий в крест простирания термоаномалии (рисунок 8), можно видеть, что в пределах зон тектонических нарушений широтного простирания наблюдаются восходящие потоки глубинных гидротерм вплоть до приповерхностных зон.

Вследствие дизъюнктивов разломы представляют собой сравнительно хорошо проницаемую зону, что подтверждается аномальными потоками гелия над ними. В смысле теплопереноса разлом удовлетворительно моделируется пластовой системой, поставленной вертикально [7].

В геотермическом поле гидрогеологически активные разломы должны проявляться не монотонно высокими значениями геотермических параметров, как до сих пор считалось, а вытянутыми аномалиями переменного знака.

Таким образом, разломы проявляются в геотермическом поле не положительными аномалиями, как до сих пор считалось, а цепочкой аномалий переменного знака, во всяком случае, если они гидрогеологически активны [8].

Различия температурного поля, присущие тем или иным геологическим структурам, по-видимому, распространяются на всю земную кору.

На Кольском полуострове в пределах первого километра наблюдались очень низкие температуры – на глубине 800 м всего около 10<sup>0</sup>С. В Кольской скважине температура на глубине 7200 м достигает 120<sup>0</sup>С, что указывает на заметное увеличение геотермического градиента с глубиной [9].

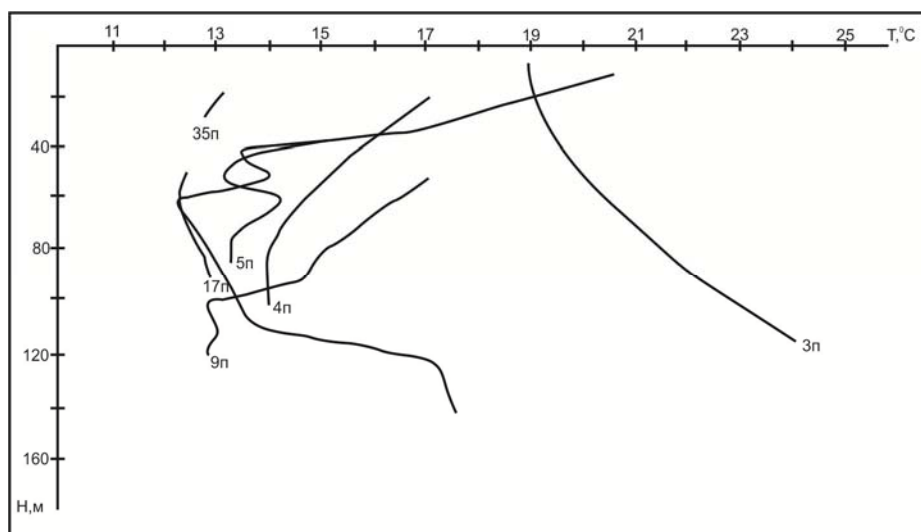


Рисунок 5 – Термокаротажные диаграммы по скважинам Дубунского поднятия (область питания водоносных горизонтов)

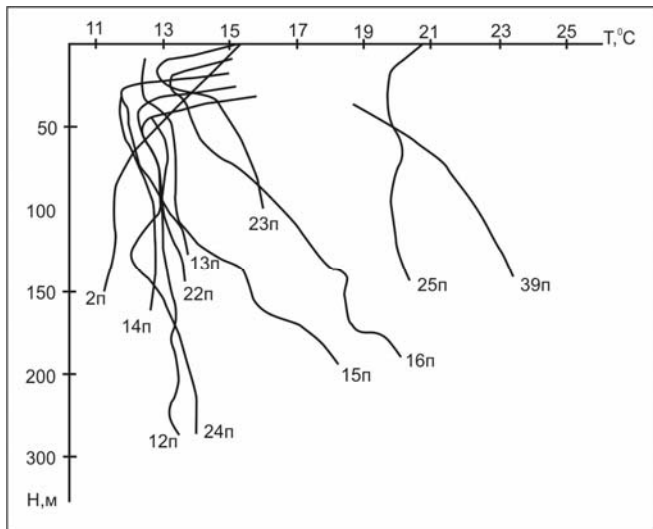


Рисунок 6 – Термокаротажные диаграммы по скважинам Дубунского поднятия (область питания водоносных горизонтов)

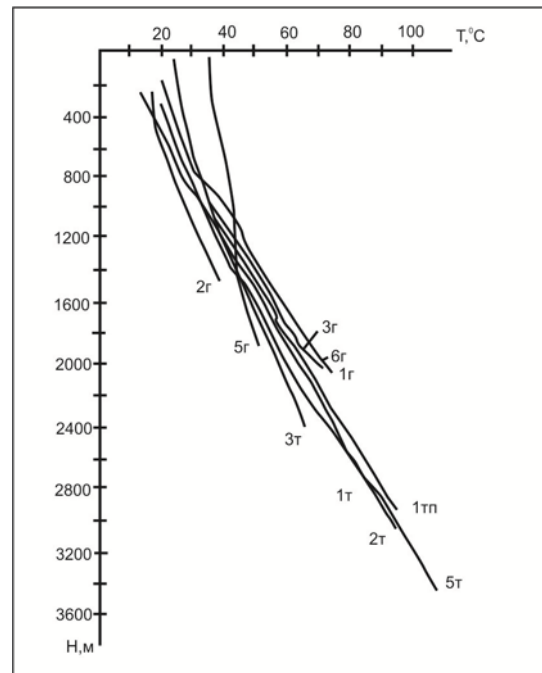
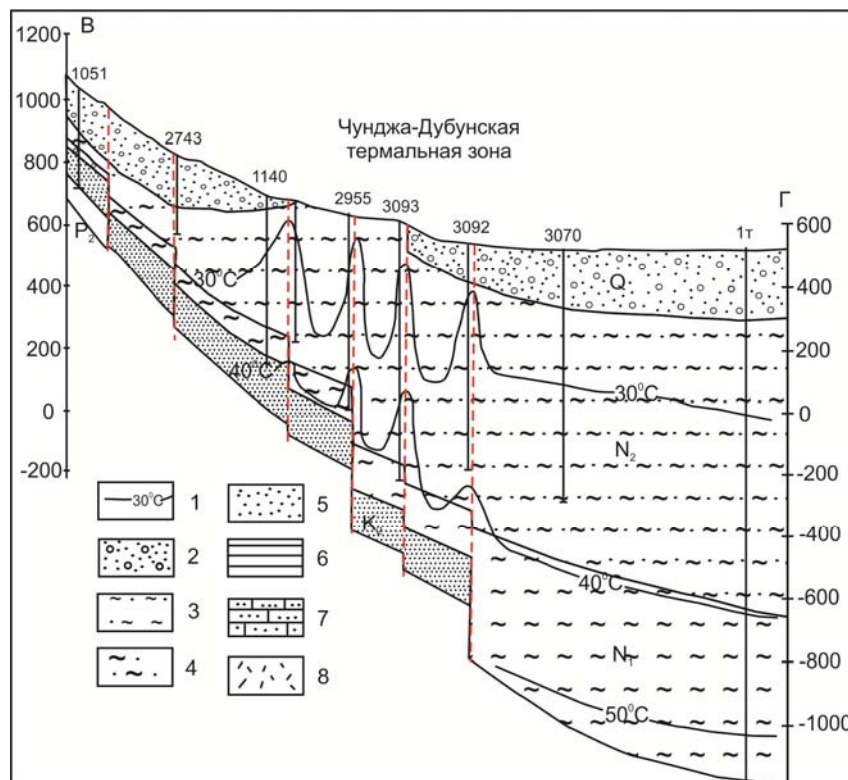


Рисунок 7 – Термокаротажные диаграммы глубоких скважин центральной части Жаркентской впадины



1 – термоизогипсы осадочных пород, °C; 2 – валунно-галечниковые отложения с песчаным заполнителем; 3 – глины с маломощными прослоями песков и валунно-галечников; 4 – глины с линзами песков и прослоями песчаников; 5 – пески и песчаники; 6 – глины аргиллитоподобные с редкими прослоями алевролитов, алевролитов и песчаников; 7 – песчаники разнозернистые; 8 – туфопесчаники, туфоконгломераты

Рисунок 8 – Геотермический разрез центральной части Чунджа-Дубунской термоаномалии по линии В-Г

Для выявления признаков ювенильного питания современных гидротермальных систем необходимо, прежде всего, установить, какие факторы могут обусловить нагревание данной водоносной системы. Для этого надо оценить область формирования гидротермальной системы и тепловую мощность всех ее очагов разгрузки. Такая оценка показывает, что тепловые параметры азотных, метановых и углекислых гидротерм могут быть обеспечены при съеме части регионального кондуктивного теплового потока [10-12].

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Жеваго В.С. Гидрогеотермические условия Казахстана // Доклады всесоюзной гидрогеологической конференции в г. Ереване. – М.: Недра, 1963. – С. 45-58.
- [2] Жеваго В.С., Кан М.С., Бондаренко Н.М., Алешенко Г.Р. Тепловой режим и гидротермальная энергия недр Южного Казахстана. – Алма-Ата: Наука КазССР, 1958. – 167 с.
- [3] Бондаренко Н.М., Сыдыков Ж.С. закономерности изменения температуры нейтрального слоя в Казахстане // Известия АН КазССР. Сер. геол. – 1967. – № 5. – С. 34-48.
- [4] Кан М.С. Геотермические условия Илийской впадины // В кн.: Гидрохимия и гидротермия подземных вод Казахстана. – Алма-Ата: Наука КазССР, 1969. – С. 71-85.
- [5] Кан М.С. Гидрогеотермические условия урочища Карадала в Илийском бассейне // Проблемы гидрогеологии Казахстана. – Алма-Ата, 1974. – С. 168-171.
- [6] Сардаров С.С., Савина Е.В. Геотермическое поле разлома // Докл. АН СССР. – 1984. – Т. 276, № 5. – С. 1091-1094.
- [7] Брезгунов В.С., Нечаев В.В. и др. О генезисе термальных вод Северной Киргизии по изотопным данным // Изв. АН КиргССР. Физ.-техн. и мат. наук. – 1987. – № 3. – С. 39-54.
- [8] Суетнов В.В., Сардаров С.С. Геотермическая разведка методом вариации теплового потока: Автореф. дис. докт. геол.-мин. наук. – М.: МГРИ, 1975. – 41 с.
- [9] Кольская сверхглубокая. Исследование глубинного строения континентальной коры с помощью бурения Кольской сверхглубокой скважины / Гл. ред. Е. А. Козловский. – М.: Недра, 1984. – 490 с.
- [10] Кононов В.И., Поляк Б.Г. Геохимия термальных вод областей современного вулканизма. – 1983. – Вып. 379. – С. 32-51.
- [11] Поляк Б.Г., Смирнов Я.Б. Тепловой поток на континентах // ДАН СССР. – 1968. – № 1. – С. 170-172.
- [12] Борисенко И.М., Корсак В.А. Оценка разломов активных тектонических зон и выявление месторождений термальных вод / Тезисы докл. Всесоюзн. сов. по подзем. водам Востока СССР. – Иркутск, 1988. – С. 61.

**В. Д. Вялов, С. М. Кан, Ш. Г. Құрманғалиева**

«У. М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан

#### **ШОНЖЫ-ДУБУН ШОҚЫСЫНЫҢ ШӨГІНДІ ҚҰНДАҒЫНЫҢ ГЕОТЕРМАЛДЫ ӨРІСІ**

**Аннотация.** Бейтарап қабаттың табанынан төмен сулы деңгейжиектің геотермалды зерттеулер нәтижелеріне талдау жүргізілген. Ұңғыма бойынша алынған термограммалар, яғни тереңдік аралығы 20 м-ден бастап 3000 м кенжарға дейін геотермалды зерттеулер үшін бастапқы мәлімет болып табылады. Жаркент тоқырауының ауданы бойынша геотермалды өрістің жалпы дұрыс таралуы Дубун көтерілімінің шегінде жалпы заңдылықтан ауытқыған жоғары мәнінде бұзылуы көрсетілген. Аномалия 100 км-ден аса қашықтықта ендік бағытта созылған үйлесімсіз пішінді болып келген. Оның батыс шекарасы Бұғыты және Торайғыр таулары болып табылады, шығысында ол ҚХР мемлекеттік шекарасының ауданымен шектеледі.

Ендік созылып жатқан тектоникалық бұзылу аймақтарының шегінде, өтпелі термоаномалияның созылуы, геотермиялық кескінінің талдауында, жоғары аймаққа дейін терең гидротермнің атпа ағыны байқалатындығы көрсетіледі. Қорытындылай келе, геотермалды өрісте гидрогеологиялық белсенді жарылымдар, осы күнге дейін геотермалдық көрсеткіштердің жоғары мәнінің байқалуы біркелкі емес, дегенмен ауыспалы белгінің аномалиясы созылған болып келуі керек.

**Түйін сөздер:** Жаркент ойысы, Шонжы-Дубун шоқысы, шөгінді құндақ, геотермалды өріс.

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 4, Number 424 (2017), 77 – 89

**E. G. Krupa<sup>1</sup>, S. M. Romanova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institute of Zoology, Almaty, Kazakhstan,

<sup>2</sup>Al-Farabi kazakh national university. Almaty, Kazakhstan.

E-mail: elena\_krupa@mail.ru; Sofya.Romanova@kaznu.kz

## HYDROCHEMISTRY OF RESERVOIRS OF THE RIVER BASIN OF ARYS IN THE TERRITORY OF THE SOUTHERN KAZAKHSTAN AREA

**Abstract.** The results of the experimental field and laboratory studies of hydrochemical water reservoirs and water Arys river basin on the territory of South Kazakhstan region, in accordance with the approved and applicable instructions and regulations. To determine the chemical composition of the water component used methods common in fresh water hydrochemical practice according to international rules of environmental monitoring. It was established that in summer 2016 the total content of the main salt-forming ions in the water reservoirs basin. Aris is in the range of 96.2 to 526.0 mg/dm<sup>3</sup>. The total hardness of the water varies from 5.10 to 1.15 mg-eq./dm<sup>3</sup>. The content of nitrite ions is at 0,006-0,110, nitrate ions - 0,005-9,357, ammonium ions - 0,01-0,09, iron - 0,240-1,344, manganese - 0,00-0,125, silicon - 2,13-7, 80 mg/dm<sup>3</sup>. Was revealed the following regularity: at low altitude pond arrangement increased the temperature, salinity and total hardness of the water, and the water content in the total nitrogen, silicon and manganese. The spatial distribution of the total iron and easily oxidisable organic a substance was characterized by non-linear the trend, with maximum values at medium altitudes.

**Keywords:** quality of natural waters, the main ions, chemical composition, mineralization, biogenic elements, organic matters, quality of water.

УДК 556.114

**Е. Г. Крупа<sup>1</sup>, С. М. Романова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт зоологии Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан, Алматы, Казахстан,

<sup>2</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан, Алматы, Казахстан

## ГИДРОХИМИЯ ВОДОЕМОВ БАССЕЙНА РЕКИ АРЫСЬ НА ТЕРРИТОРИИ ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

**Аннотация.** Приведены результаты экспериментальных полевых и лабораторных гидрохимических исследований воды водоемов и водотоков бассейна реки Арысь на территории Южно-Казахстанской области в соответствии с утвержденными и действующими наставлениями и инструкциями. Для определения компонентов химического состава воды применены общепринятые в гидрохимической практике пресных вод методы согласно международным правилам мониторинга окружающей среды.

Установлено, что в летний период 2016 г. суммарное содержание главных солеобразующих ионов в воде водоемов бассейна р. Арысь колеблется в пределах от 96,2 до 526,0 мг/дм<sup>3</sup>. Общая жесткость воды изменяется от 1,15 до 5,10 мг-экв./дм<sup>3</sup>. Содержание нитритных ионов находится на уровне 0,006–0,110, нитратных ионов – 0,005–9,357, ионов аммония – 0,01–0,09, железа – 0,240–1,344, марганца – 0,00–0,125, кремния – 2,13–7,80 мг/дм<sup>3</sup>.

Выявлена следующая закономерность: при понижении высоты расположения водоема возрастали температура, общая минерализация и жесткость воды, а также содержание в воде общего азота, кремния и марганца. Пространственное распределение общего железа и легкоокисляющегося органического вещества характеризовалось нелинейным трендом, с максимальными значениями на средних высотах.

**Ключевые слова:** природные воды, химический состав, минерализация, главные ионы, биогенные элементы, органические вещества, качество воды.

**Введение.** Для научного обоснования комплексного исследования и использования природных вод и содержащихся в них солей необходимо изучение закономерностей солеобразования в природных и антропогенно измененных условиях. Сыр-Дарьинский водный бассейн является крупнейшим в Казахстане и Средней Азии и, к сожалению, в физико-химическом отношении изучен недостаточно. В частности, в литературе нет сведений о распределении компонентов химического состава воды водных объектов в зависимости от высоты их расположения над уровнем моря. В связи с этим нами были возобновлены гидрохимические работы в летний период 2016 г. с целью выявления закономерности распределения компонентов химического состава воды водоемов и водотоков бассейна реки Арысь с изменением высоты их расположения над уровнем моря.

**Полевые работы.** Летом 2016 г. обследованы водоемы бассейна реки Арысь – наиболее крупного правого притока реки Сырдарья на территории Южно-Казахстанской области (рисунок 1). Озера Кызольгенколь, Айнаколь, верхние и средние участки рек Аксу, Жабаглысу, Жетимсай находятся на территории Аксу-Жабаглинского заповедника на высотах от 1330 до 2136 м. над ур. м. (таблица 1) Равнинная и предгорная части обследованной территории охватывают реку Арысь от истоков до ее впадения в Сырдарью, левые притоки р. Арысь – Бадам, Сайрамсу, правый приток – р. Жыланды, а также два водохранилища, расположенных на правых притоках – Сартур и Кулан.

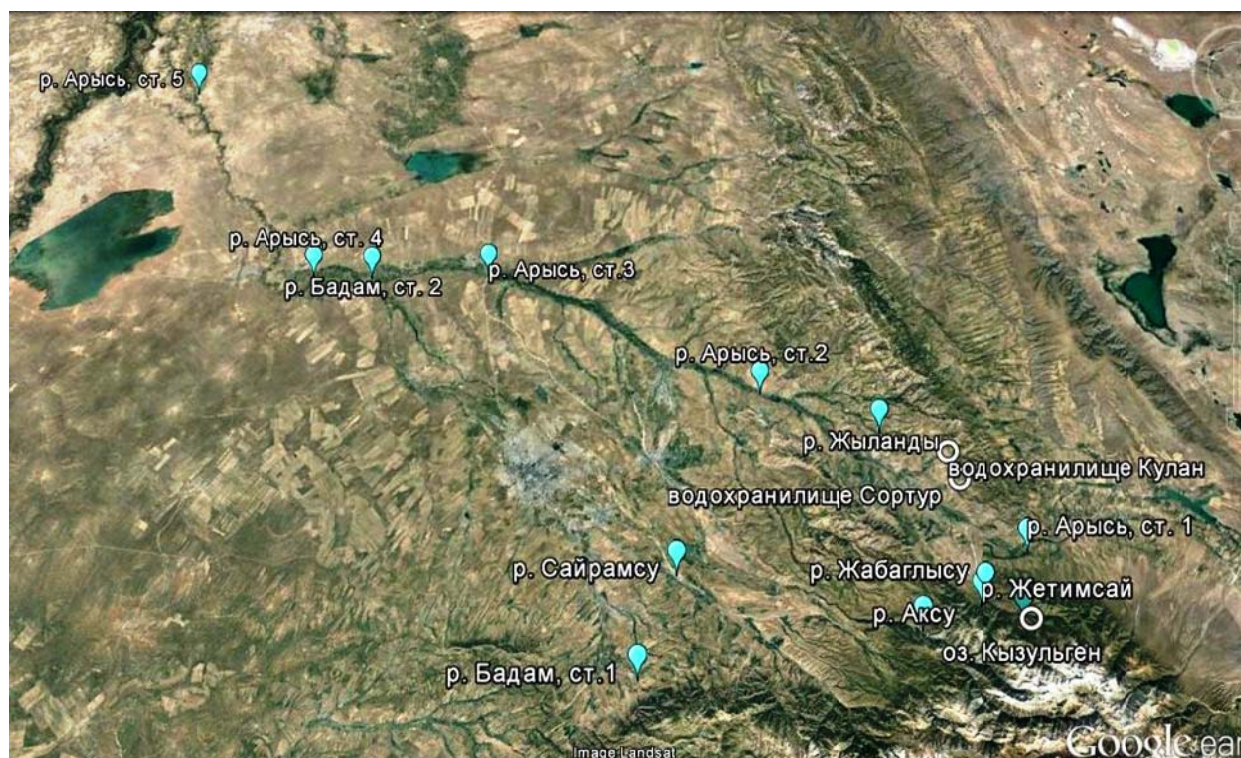


Рисунок 1 – Карта-схема обследованных водоемов бассейна р. Арысь, июнь 2016 г.

Figure 1 – Map - a chart of the inspected reservoirs of pool r. Arys, June 2016.

Таблица 1 – Список станций отбора проб воды в водоемах бассейна р. Арысь, июнь 2016 г.

Table 1 – List of the stations sampling of water in the reservoirs of pool Arys, June 2016 y.

Название	Станция	Высота над ур.м.	Координаты	
оз. Кызольгенколь	запад	2136	42°24'29.3	070°39'04.4
	восток	2136	42°24'29.3	070°39'04.4
оз. Айнаколь	бассейн р. Жабаглысу	2360	42°24'	070°43'
р. Аксу	левый приток р. Арысь	1469	42°20'06.3	070°27'10.1
родник	правый берег р. Аксу	1469	42°20'06.3	070°27'10.1
р. Жабаглысу	левый приток р. Арысь	1330	42°25'11.3	070°33'00.7
р. Жетимсай	левый приток Жабаглысу	1513	42°24'18.7	070°32'50.1
р. Байдаксай	левый приток Жабаглысу	1936	42°24'23.38	070°38'07.48
р. Арысь	п. Шокпак-баба	1135	42°30'37.0	070°37'14.6
	п. Керейт	494	42°34'50.91	069°58'20.57
	п. Тамерлановка	289	42°35'13.8	069°18'31.6
	10 км до ст. Арысь	231	42°27'52.2	069°57'02.5
	п. Ильич	205	42°41'16.26	068°27'13.18
р. Бадам	выше поселка Бадам	960	42°06'02.7	069°57'48.2
	перед впадением в Арысь	251	42°30'08.6	069°04'14.2
р. Сайрамсу	п. Коксайек	873	42°15'50.14	069°57'22.96
водохранилище Сартур	верховье	935	42°34'12.0	070°26'01.3
	центр	935	42°34'12.0	070°26'01.3
	плотина	935	42°34'12.0	070°26'01.3
водохранилище Кулан	верховье	868	42°36'15.3	070°23'35.3
	центр	868	42°36'15.3	070°23'35.3
	плотина	868	42°36'15.3	070°23'35.3
р. Жыланды	Выше п. Жыланды	723	42°35'56.2	070°14'25.3

В полевых условиях проводили описание каждой станции и водоема в целом, с указанием высоты над ур. м., координатной привязки, глубины, прозрачности воды, характера грунта, степени зарастаемости высшей водной растительностью. Величину рН, электропроводность и температуру воды измеряли с помощью портативных влагонепроницаемых приборов марки Hanna HI 98129. Минерализацию определяли по электропроводности воды.

**Методы лабораторного анализа.** На каждом водоеме по сетке станций отбирали пробы воды для определения химического состава и суммарного содержания растворенных солей, легко-окисляющихся органических веществ, нитритов, нитратов, фосфатов, аммония, общего железа, кремния, марганца.

Каждая проба воды состояла из субпроб, отобранных как минимум в трех различных частях водоема. Субпробы смешивались, изатем отбиралась одна интегрированная проба нужного объема.

Гидрохимический анализ воды выполнен в лаборатории «Химия природных вод» КазНУ им. аль-Фараби после консервирования образцов соответствующими реагентами [1-3]. Применяли общепринятые методики выполнения измерений [2, 3]. В ходе анализа процент ошибок не превышал допустимых значений их погрешности. Все пробы воды анализировались минимум в трех-четырёхкратной повторности.

**Физико-географическая характеристика бассейна р. Арысь (Арало-Сырдарьинский водохозяйственный бассейн).** Бассейн реки Арысь расположен в пределах восточной части Туранской низменности и западных отрогов Тянь-Шаня. Большая часть территории равнинная, с бугристо-грядовыми песками Кызылкум, степью Шардара по левобережью Сырдарьи и песками Мойынкум по левобережью Чу. Северная часть занята пустыней Бетпак-Дала, на крайнем юге находится Голодная степь. Среднюю часть области занимает хребет Каратау с горой Бессаз высотой 2176 м. На юго-востоке расположена западная окраина Таласского Алатау, хребты Каржантау с наивысшей отметкой до 2824 м и Угамский, с Сайрамским пиком высотой 4238 м.

Климат резко континентальный. Плодородные почвы, обилие солнечного света, обширные пастбища создают большие возможности для развития в этом районе разнообразных отраслей сельского хозяйства, в первую очередь, поливного земледелия и пастбищного овцеводства. Высокие урожаи дают посевы хлопчатника, риса, а также сады и виноградники.

Регион богат месторождениями полезных ископаемых, таких как барит, уголь, железные и полиметаллические руды, бентонитовые глины, вермикулит, тальк, известняк, гранит, мрамор, гипс, кварцевые пески, уран, фосфориты и железные руды. Имеются минеральные воды действующего санатория Сарыагаш и минеральные термальные воды, скважины которых расположены в 20 км южнее г. Кентау в предгорьях Каратау в долине реки Шага, а также вблизи поселков Темирлановка и Манкент.

Река Арысь является крупнейшим правым притоком р. Сырдарьи. Берёт начало у Аксу-Жабаглинского заповедника из родников на хребте Таласский Алатау и впадает в Сырдарью в ее среднем течении вблизи аула Талапты. Относится к рекам снегово-дождевого питания. Средний расход воды у города Арысь  $46,6 \text{ м}^3/\text{с}$ . Наибольший сток в апреле, наименьший – в августе. Площадь водосборного бассейна реки составляет  $13,1 \text{ тыс. км}^2$ . Протяженность реки 378 км, со средним многолетним стоком  $1,198 \text{ км}^3$  и расходом  $38 \text{ м}^3/\text{с}$  [4].

Берега р. Арысь преимущественно глинистые, особенно в среднем и нижнем течении, поросли тамариском, лохом и другими кустарниками. Дно местами каменистое, на отдельных участках глинистое, топкое. Ширина реки достигает 20–25 м в среднем и до 50 м в нижнем течении. В верховье река собирается из множества мелких ручейков, проходящих через сельскохозяйственно освоенные районы. В период обследования вода этого участка имела низкую прозрачность и ржаво-коричневый цвет. В районе п. Керейт количество взвешенных веществ уменьшалось, и вода имела светло серо-зеленый цвет и вновь приобретала глинистый оттенок на нижележащих участках (рисунок 2.1). Температура воды достигала  $22,0\text{--}27,0^\circ\text{C}$ , повышаясь в направлении от верхних предгорных участков к нижним.



верховье, ст.1  
riverhead, st.1



среднее течение, ст.2  
theAVflow, st.2



среднее течение, ст. 3  
theAVflow, st.3



среднее течение, ст.4  
the AV flow, st.4



нижнее течение, ст. 5  
lower flow, st.5

Рисунок 2 – Река Арысь, июнь 2016 г.

Figure 2 – RiverArys, June 2016





Жабаглысу  
Zhabaglysu



Жетимсай  
Zhetimsai



Аксу  
Aksu



Сайрамсу  
Sairamsu



Бадам, среднее течение  
Badam, theAVflow



Бадам, нижнее течение  
Badam, lowerflow

Рисунок 3 – Левые притоки реки Арысь, июнь 2016 г.

Figure 3 – Left inflows of the river Arys, June 2016

Левыми притоками Арысь в верхнем течении являются реки Жабаглысу и Аксу, берущие начало на территории Аксу-Жабаглинского заповедника в Таласских горах на высоте около 3000 м. Река Жабаглысу течет с востока на запад в основном по территории заповедника. Питание ледниковое, снеговое, родниковое. Вода белесоватого цвета, с прозрачностью не более 0,1–0,2 м (рисунок 2). Глубина в средней части около 1,30–1,40 м. Берега заросли деревьями и кустарниками. Течение быстрое.

Левым притоком Жабаглысу является р. Жетимсай, протекающая по территории заповедника. Ее истоки расположены на высоте около 3000 м. Вода холодная, и в отличие от Жабаглысу, прозрачная. Глубина не превышает 0,5 м. Дно каменистое. Берега заросли деревьями и кустарниками.

Река Аксу протекает в глубоком каньоне. В горной части вода белесоватая (рисунок 3), с низкой прозрачностью, холодная. Дно каменистое. Берега заросли деревьями и кустарниками. Проходя через населенную территорию, впадает в реку Арысь между поселками Акарыс и Кутарыс. Вдоль русла реки происходит выклинивание родниковых вод (рисунок 4). Нами обследован один из родников с прозрачной, холодной водой, каменистым дном, обросшим нитчатыми водорослями.



Рисунок 4 – Родник в пойме реки Аксу, июнь 2016 г.

Figure 4 – A spring is in the valley of the river Aksu, June 2016

Следующим крупным левым притоком является река Сайрамсу (рисунок 3), берущая свое начало в районе пика Сайрам на границе с Кыргызстаном. В среднем течении, в районе п. Коксайек, река по бетонированным каналам разбирается на полив сельхозугодий. Течение быстрое. Дно сложено камнями. Вода холодная, с низкой прозрачностью.

Еще один из крупных притоков – река Бадам, течет с хребта Каржантау. В верхней части вода прозрачная, холодная (рисунок 3). Дно сложено камнями. Ширина не превышает 10–12 м, при глубине 0,7–0,8 м. Протекает по густонаселенным районам, в том числе проходит через г. Шымкент. В нижнем течении, перед впадением в Арысь в районе п. Караспан, ширина реки достигает 25 м. Вода глинистого цвета, несет большое количество взвесей. Температура воды повышается до 23,4°C.

Из правых притоков, берущих начало с хребта Боралдай, обследована р. Жыланды (рисунок 5) выше одноименного поселка. Питание родниковое, снеговое, дождевое. Ширина 3–5 м, глубина 0,2–0,5 м. Прозрачность воды до дна. Берега сложены глиной, заросли кустарником.



Рисунок 5 –  
Река Жыланды (правый приток реки Арысь), июнь 2016 г.

Figure 5 –  
River Zhilandy (right inflow river Arys), June 2016

Помимо рек обследованы высокогорные озера Кызольгенколь и Айнаколь, расположенные на территории Аксу-Жабаглинского заповедника, а также водохранилища Кулан и Сартур, питающиеся водами правых притоков р. Арысь. Озеро Кызольгенколь относится к бассейну р. Жабаглысу и находится на высоте более 2000 м, в зоне субальпийских лугов. Имеет оползневое происхождение. Максимальная ширина не превышает 0,08, при длине 0,22 км. Питание осуществляется за счет родников и атмосферных осадков, таяния снега. Берега покрыты травянистой растительностью. Глубина не более 1,5–2,0 м. Прозрачность воды до дна, сложенного мелкими камнями с наилком. Озеро частично пересыхающее, состоит из двух частей – мелководной удлиненной восточной и более глубокой, имеющей округлую форму, западной части (рисунок 6). Максимальную площадь озеро имеет весной. В июне 2016 г. восточная часть озера была частично осушена. Относительно максимального уровня понизился примерно на 0,8–1,0 м. К концу лета мелководная восточная часть полностью пересыхает, и вода сохраняется только в западной половине.



космоснимок (сентябрь 2013 г.)  
kosmshot (September 2013)



фотоснимок (июнь 2016 г.)  
snapshot (June 2016)

Рисунок 6 – Озеро Кызольгенколь

Figure 6 – Lake Kyzolgenkol

Оз. Айнаколь, расположено на высоте 2360 м, также возникло в результате оползня. Относится к бассейну р. Жабаглысу. Его площадь 0,002 км<sup>2</sup>. Глубина не превышает 1,5–2,0 м, с прозрачностью до дна, сложено камнями.

Водоохранилища Сартур и Кулан питаются водами правых притоков реки Арысь, стекающих с хребта Боралдай. Водоохранилище Сартур имеет неправильную форму (рисунок 7), при размерах 0,38 на 0,60 км и площади на момент обследования 0,14 км<sup>2</sup>. Левый берег глинистый, холмистый, правый более пологий, порос одиночными акациями, кленом, лохом серебристым, ивой. Глубины от берега нарастают резко, с максимумом в приплотинной части до 20–24 м. Прибрежная зона частично заросла камышом. В верхней части водоема отмечены куртины рдеста курчавого. Цвет воды – светлый желто-зеленый. Прилегающая к правому берегу территория занята полями пшеницы, а также используется для выпаса домашних животных. Является местом отдыха местного населения. По берегам отмечен бытовой мусор. Водоохранилище Кулан сооружено в 1984 г. Питание за счет одноименной речки, берущей начало в Боралдайских горах на высоте около 900 м. Ориентировано с востока на запад. В приплотинной южной части имеется водовыпуск. В период отбора материала имело размеры 0,106 км<sup>2</sup>. Максимальная глубина около 20 м.



космоснимок  
kosmshot



фотоснимок  
snapshot

Рисунок 7 – Водоохранилище Сартур

Figure 7 – Storage pool Sartur

Судя по космоснимку (конец сентября 2013 г.) (рисунок 8) к осени площадь водоохранилища уменьшается более чем в 2 раза – до 0,045 км<sup>2</sup>. Берега местами обрывистые, поросли лохом серебристым, боярышником. Глубины нарастают относительно медленно. В прибрежной зоне в небольшом количестве отмечены нитчатые водоросли. Дно местами заросло рдестами. При максимальном наполнении глубина в приплотинной зоне более 20 м. Грунт – серый ил. Цвет воды светло желто-зеленый. По берегам выпасают домашних животных. Является зоной отдыха и любительской рыбалки для местного населения.



космоснимок  
kosmshot



фотоснимок  
snapshot

Рисунок 8 – Водоохранилище Кулан

Figure 8 – Storage pool Kulan

Особенностью бассейна р. Арысь является то, что заборы воды на орошение производятся здесь на всем протяжении рек, начиная с верховьев. Забор воды осуществляется более сотней каналов, суммарный среднегодовой расход которых составляет около 80% от суммарной величины естественного поверхностного притока воды [5]. В связи с этим происходит не только увеличение минерализации воды, но и нарушение естественного гидрохимического режима рек.

**Гидрохимическая и токсикологическая характеристика.** Водоемы бассейна реки Арысь расположены на различных высотах, с чем связана отчетливая зонально-климатическая изменчивость ряда параметров. В период исследований температура воды варьировала в пределах от 10,2 до 27,0°C, повышаясь в направлении от верхних к нижним участкам рек (таблица 2, рисунок 9). При величинах рН 7,50–8,90, реки в верхнем течении имели более щелочную воду относительно равнинных участков.

Наиболее высоко расположенное озеро Кызольгенколь прогревалось до температуры 24,0°C, что связано, очевидно, с его мелководностью и непроточностью. Температура воды слабопроточных водохранилищ Сартур и Кулан, расположенных на высотах 935 и 868 м над морем, укладывалась в общие тенденции распределения величины показателя в высотном градиенте. Минерализация воды изменялась в пределах от 96,2 до 526,0 мг/дм<sup>3</sup>, с минимальной величиной показателя в горном озере Кызольгенколь (таблица 3). Горные участки левых притоков реки Арысь также являлись ультрапресными, с суммарным содержанием растворенных солей менее 200 мг/дм<sup>3</sup>. Равнинные участки рек и водохранилища Кулан и Сартур имели пресную мягкую воду. Наиболее высокой минерализацией воды характеризовались р. Арысь в нижнем течении и р. Жыланды.

Таблица 2 – Физические свойства, температура, значения рН воды водоемов бассейна р. Арысь, лето 2016 г.

Table 2 – Physical properties, temperature, values of pH water of reservoirs of pool r. Arys, summer 2016

№	Водоем, водоток	Станция	Температура, °С	Глубина, м	Прозрачность, см	Цвет воды	рН
1	озеро Кызульген		24,1	не опр.	не опр.	не опр.	8,80
2	река Аксу (основное русло)		12,7	1,5-1,8	0,20	белесоватый	7,60
3	родник рядом с р. Аксу		10,8	0,2,-0,3	0,20-0,30	бесцветный	8,66
4	река Жабаглысу		14,0	1,3-1,4	0,10	белесоватый	7,70
5	река Жетимсай		10,2	0,3-0,4	0,30-0,40	не опр.	7,50
6	ручей Байдаксай		не опр.	0,15-0,20	0,15-0,20	бесцветный	не опр.
7	река Арысь	п. Шокпак-баба	22,3	0,10-0,15	0,05	грязный	9,01
	река Арысь (маринка)	п. Керейт	23,1	0,7-0,8	0,20	глинистый светлый	8,89
	река Арысь	п. Тамерлановка	23,0	не опр.	0,10	не опр.	8,80
	река Арысь	10 км до ст. Арысь	25,0	1,0-1,5	0,10	не опр.	8,83
	река Арысь	п. Ильич	27,3	не опр.	0,20	не опр.	8,80
8	река Бадам среднее течение	выше поселка	15,7	0,7-0,8	0,70-0,80	бесцветный	9,58
	река Бадам нижнее течение	ниже г.Шымкент перед впадением в р.Арысь	23,4	не опр.	не опр.	глинистый	8,75
9	река Сайрамсу		14,9	не опр.	0,10-0,20	не опр.	8,95
10	водохранилище Сортур		23,4	4,0-20,0	не опр.	светло-желто-зеленый	7,60
11	водохранилище Кулан	верховье	23,4	4,0	1,20	светло-желто-зеленый	8,95
центр		23,4	13,0	2,20	светло-желто-зеленый	8,95	
плотина		23,4	20,0	2,30	светло-желто-зеленый	8,95	
12	р.Жыланды		16,9	0,2-0,3	0,20-0,30		8,36

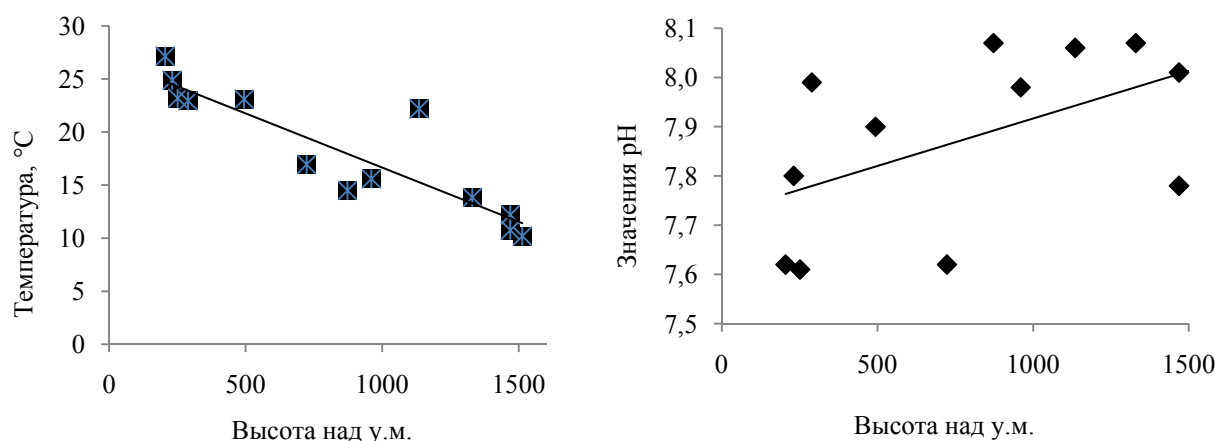


Рисунок 9 – Изменение температуры и величины pH воды в водотоках бассейна р. Арысь в зависимости от высоты, июнь 2016 г.

Figure 9 – Change of temperature and size of pH water in the currents of pool r. Arys depending on a height, June 2016

Таблица 3 – Ионный состав и минерализация воды водоемов бассейна р. Арысь, июнь 2016 г.

Table 3 – Ionic composition and water mineralization of reservoirs of pool r. Arys, June 2016

Название	Ионный состав, мг/дм <sup>3</sup>						Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	Жесткость, мг-экв./дм <sup>3</sup>	Индекс по Алекину
	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>			
Водоемы									
Кызыльгенколь	2,65	15,03	4,86	67,12	3,94	2,62	96,2	1,15	C <sub>II</sub> <sup>Ca</sup>
Сартур	12,65	13,03	26,75	183,1	14,31	2,06	251,9	2,90	C <sub>II</sub> <sup>Mg</sup>
Кулан	6,52	11,02	28,58	173,9	12,34	1,91	234,3	2,90	C <sub>II</sub> <sup>Mg</sup>
Водотоки									
Аксу	3,65	11,02	18,85	112,9	15,66	2,48	164,6	2,15	C <sub>II</sub> <sup>Mg</sup>
родник	4,12	15,03	21,28	143,4	12,34	2,06	198,2	2,60	C <sub>II</sub> <sup>Mg</sup>
Жабалгы	1,57	13,03	17,63	115,9	10,18	1,81	160,1	1,98	C <sub>II</sub> <sup>Mg</sup>
Жетимсай	9,87	19,04	22,50	167,8	18,78	1,91	239,9	2,90	C <sub>II</sub> <sup>Mg</sup>
Арысь, ст.1	2,10	10,02	28,58	161,7	10,85	2,06	215,3	2,85	C <sub>II</sub> <sup>Mg</sup>
Арысь, ст.2	31,0	20,0	34,05	268,5	23,05	5,67	382,3	3,70	C <sub>II</sub> <sup>Mg</sup>
Арысь, ст.3	45,5	14,42	35,26	247,1	60,5	7,45	410,2	3,60	C <sub>II</sub> <sup>Mg</sup>
Арысь, ст. 4	58,3	14,03	36,48	219,7	99,4	12,8	440,7	3,65	C <sub>II</sub> <sup>Mg</sup>
Арысь, ст. 5	76,3	16,03	42,56	216,6	151,8	22,7	526,0	4,25	C <sub>II</sub> <sup>Mg</sup>
Сайрамсу	5,50	8,02	19,46	109,8	15,85	3,19	161,8	2,10	C <sub>II</sub> <sup>Mg</sup>
Бадам, ст. 1	7,05	12,42	19,46	137,3	8,40	2,73	187,4	2,45	C <sub>II</sub> <sup>Mg</sup>
Бадам, ст. 2	60,3	14,03	31,62	192,2	102,3	15,2	415,6	3,25	C <sub>II</sub> <sup>Mg</sup>
Жыланды	45,7	25,05	45,60	378,3	16,95	9,93	521,5	5,10	C <sub>II</sub> <sup>Mg</sup>

Суммарное содержание растворенных солей возрастало при снижении высоты расположения водоема над у.м. Это прослеживалось как для реки Арысь, так и при анализе всех данных по бассейну (рисунок 10, а). Повсеместно в ионном составе преобладали гидрокарбонатные ионы и ионы магния, индекс воды по Алекину C<sub>II</sub><sup>Mg</sup>. Аналогичная закономерность выявлена и для величины общей жесткости воды: ее увеличение при уменьшении высоты расположения водного объекта над уровнем моря (рисунок 10, б).

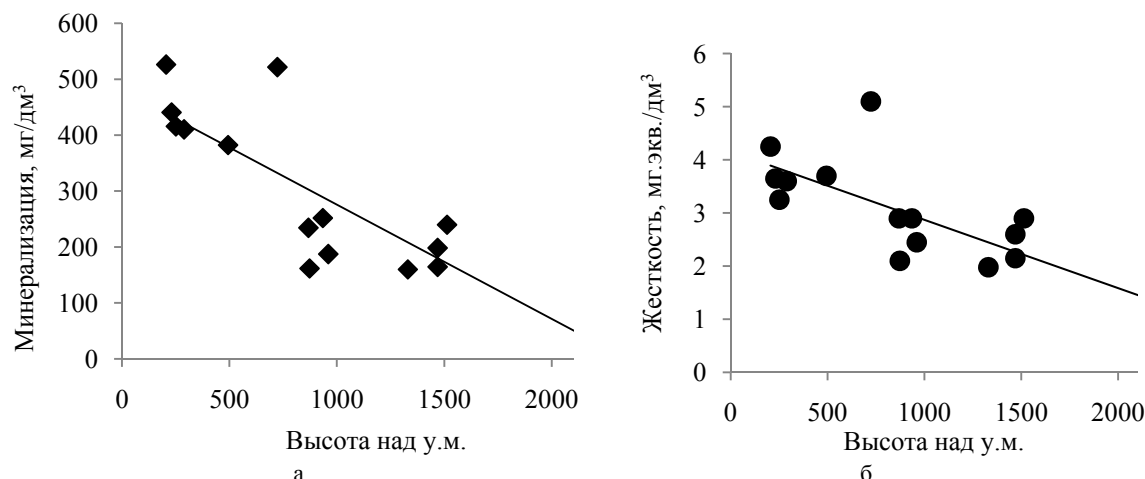


Рисунок 10 – Изменение минерализации (а) и жесткости воды (б) в зависимости от высоты расположения водоемов бассейна р. Арысь, июнь 2016 г.

Figure 10 – Change of mineralization (a) and inflexibility of water (б) depending on the height of location of reservoirs of pool Arys, June 2016

В направлении от верхних к нижним участкам рек содержание легко окисляемого органического вещества (величина перманганатной окисляемости) изменялось нелинейно (рисунок 11, а). Наиболее высокие значения этого показателя зафиксированы в верховье р. Арысь и р. Жыланды (таблица 4), что может быть обусловлено мелководностью этих участков, а также прохождением реки Арысь сразу после выхода на равнину через сельскохозяйственно освоенные районы. Известно, что характерной особенностью рек Сыр-Дарьинского бассейна является чрезвычайно широкое использование их стока на орошение, причем заборы воды производятся здесь на всем протяжении рек, начиная с верховьев. Загрязняющие вещества, в том числе биогенные и органические, попадают в русло рек с водосборных площадей.

Таблица 4 – Содержание легкоокисляющихся органических веществ (ПО, мгО/дм<sup>3</sup>) и биогенных элементов (мг/дм<sup>3</sup>) в воде водоемов бассейна р. Арысь, июнь 2016 г.

Table 4 – The concentration of easily organic substances (PO, mgO/dm<sup>3</sup>) and biogenic elements (mg/dm<sup>3</sup>) in water of reservoirs of pool r.Aryst, June 2016

Название	ПО	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Fe	Mn	Si
Водоемы										
Кызыльгенколь	7,40	0,032	0,010	0,005	0,001	0,08	0,062	1,064	0,008	3,20
Сартур	2,60	0,080	0,024	2,649	0,600	0,08	0,062	0,620	0,034	4,75
Кулан	3,82	0,050	0,015	24,183	5,465	0,07	0,054	0,248	0,034	6,40
Водотоки										
Аксу	2,08	0,020	0,006	1,032	0,233	0,05	0,039	0,068	0,000	2,13
родник	1,72	0,008	0,002	0,008	0,002	0,09	0,070	0,104	0,000	4,15
Жабалысу	2,60	0,006	0,002	1,410	0,319	0,04	0,031	0,180	0,000	2,70
Жетимсай	2,20	0,030	0,009	0,003	0,001	0,03	0,023	0,240	0,000	3,85
Арысь, ст. 1	4,62	0,060	0,018	1,961	0,443	0,05	0,039	1,268	0,092	7,80
Арысь, ст. 2	3,00	0,025	0,008	9,116	2,060	0,01	0,008	1,344	0,042	6,25
Арысь, ст. 3	2,00	0,100	0,030	9,357	2,115	0,03	0,023	0,384	0,017	4,80
Арысь, ст. 4	3,20	0,026	0,008	0,001	0,000	0,03	0,023	0,352	0,125	7,20
Арысь, ст. 5	2,83	0,110	0,033	5,607	1,267	0,02	0,016	0,348	0,067	7,25
Сайрамсу	2,22	0,105	0,032	1,651	0,373	0,07	0,054	0,584	0,058	5,70
Бадам, ст. 1	2,24	0,100	0,030	0,860	0,194	0,05	0,039	0,272	0,017	3,42
Бадам, ст. 2	3,02	0,033	0,010	8,566	1,936	0,06	0,047	0,424	0,058	7,85
Жыланды	4,44	0,015	0,005	13,038	2,946	0,06	0,047	0,572	0,008	6,50

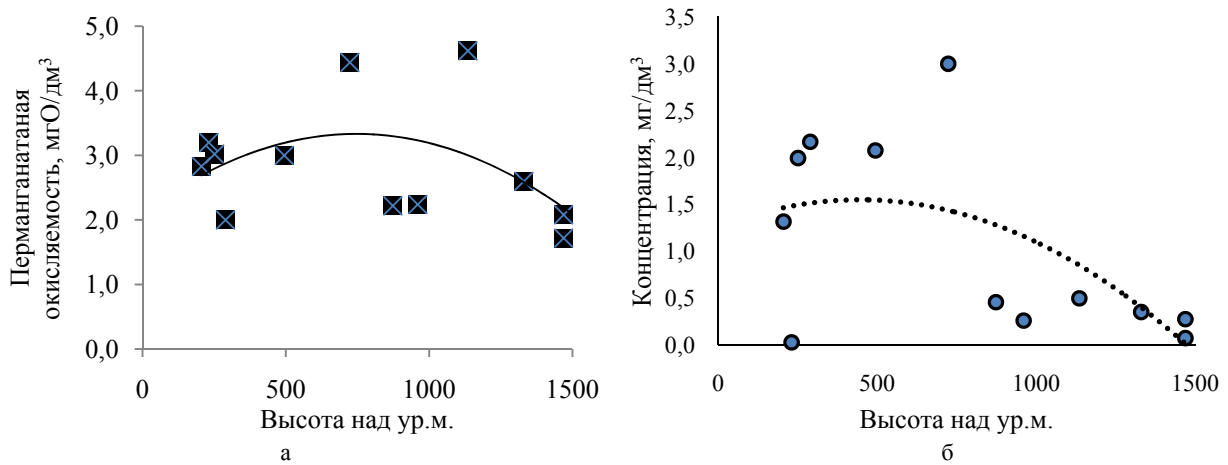


Рисунок 11 – Пространственная динамика содержания легкоокисляемого органического вещества (а) и общего азота (б) в воде водоемов бассейна р. Арысь в зависимости от высоты, июнь 2016 г.

Figure 11 – Spatial dynamics of concentration of easily organic substance (a) and general nitrogen (б) in water of reservoirs of pool r. Arys depending on a height, June 2016

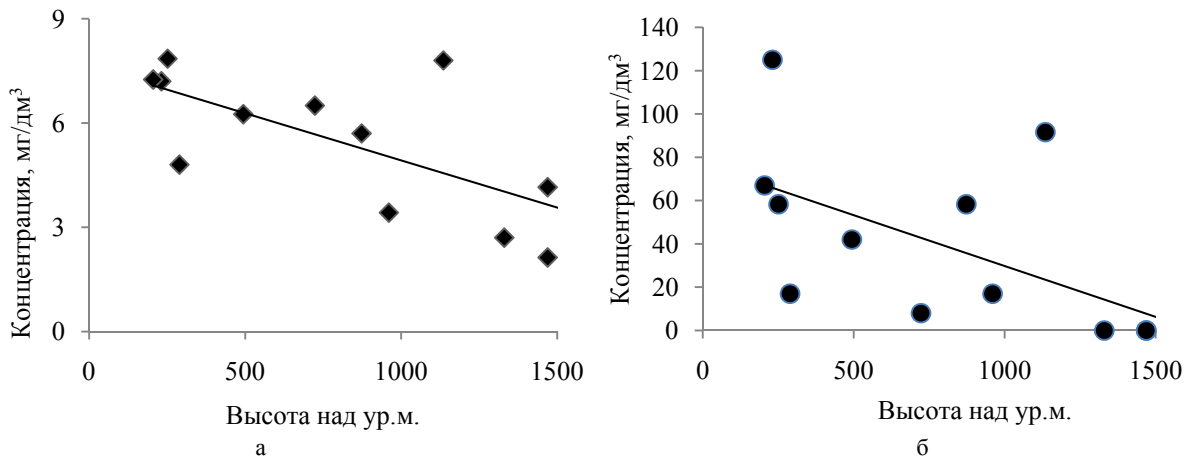


Рисунок 12 – Пространственная динамика содержания кремния (а) и марганца (б) в воде водотоков бассейна р. Арысь в зависимости от высоты, июнь 2016 г.

Figure 12 – Spatial dynamics of concentration of silicon (a) and manganese (б) in water of currents of pool r. Arys depending on a height, June 2016

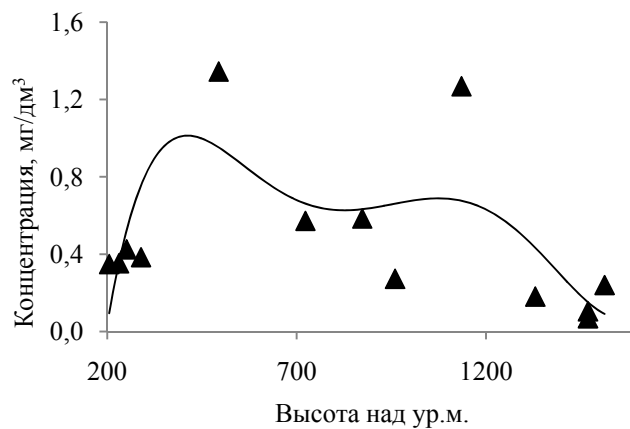


Рисунок 13 – Содержание общего железа в воде водотоков бассейна р. Арысь в зависимости от высоты, июнь 2016 г.

Figure 13 - The concentration of general iron in water of currents of pool r. Arys depending on a height, June 2016

Аналогичным образом в градиенте высоты изменялось суммарное количество минерального азота (рисунок 11, б). Максимальные значения этого показателя зафиксированы в р. Арысь в районе поселков Кереит и Тамерлановка, а также в воде правого притока Арыси, р. Жылынды. В направлении от верхних к нижним участкам водотоков также возрастало содержание в воде кремния и марганца (рисунок 12). Изменение концентраций общего железа в градиенте высоты было нелинейным, с максимальными значениями на участках рек, расположенных на высотных отметках от 600 до 1200 м (рисунок 13).

**Выводы.** На основе экспериментальных результатов дана гидрохимическая характеристика водоемов и водотоков бассейна реки Арысь в пределах Южно-Казахстанской области за летний период 2016 г. Минерализация воды водоемов бассейна р. Арысь изменялась в пределах от 96,2 до 526,0 мг/дм<sup>3</sup>. Жесткость воды достигала 1,15–5,10 мг-экв./дм<sup>3</sup>. Содержание нитритных ионов находилось на уровне 0,006–0,110, нитратных ионов – 0,005–9,357, ионов аммония – 0,01–0,09, железа – 0,240–1,344, марганца – 0,00–0,125, кремния – 2,13–7,80 мг/дм<sup>3</sup>.

При понижении высоты расположения водоема возрастали температура, общая минерализация и жесткость воды, а также содержание в воде общего азота, кремния и марганца. Пространственное распределение общего железа и легкоокисляющегося органического вещества характеризовалось нелинейным трендом, с максимальными значениями на средних высотах.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Romanova S.M., Preisner L. The theoretical bases and methodology of reseaches of antropogenic transformation of hydrochemical regime of reservoirs of arid zones // Polish Journal of Environmental Studies. – 2011. – Vol. 20, N 4A. – P. 277-281.
- [2] Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Под ред. А. Д. Семенова. – Л.: Гидрометеоздат, 1977. – 541 с.
- [3] Фомин Г.С. Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам. – М.: НПО «Альтернатива», 1995. – 618 с.
- [4] Водноэнергетический кадастр рек Казахской ССР / Н. С. Калачев, Л. Д. Лаврентьева; Под общ. ред. акад. Ш. Ч. Чокина; Акад. наук КазССР. Гос. ком. по энергетике и электрификации СССР. Ин-т энергетике. – Алма-Ата: Наука, 1965. – 707 с.
- [5] Ресурсы поверхностных вод СССР. – Т. 14. Средняя Азия. – Вып. 1. Бассейн р. Сыр-Дарья. – Л.: Гидрометеоздат, 1969. – 441 с.

#### REFERENCES

- [1] Romanova S.M., Preisner L. The theoretical bases and methodology of reseaches of antropogenic transformation of hydrochemical regime of reservoirs of arid zones // Polish Journal of Environmental Studies. 2011. Vol. 20, N 4A. P. 277-281 (in Eng.).
- [2] Rukovodstvo po himicheskomu analizu poverhnostnyh vod sushi / Pod red. A. D. Semenova. L.: Gidrometeoizdat, 1977. 541 p. (in Russ.).
- [3] Fomin G.S. Voda. Kontrol himicheskoy, bakterialnoj i radiacionnoj bezopasnosti po mezhdunarodnym standartam. M.: NPO «Alternativa», 1995. 618 p. (in Russ.).
- [4] Vodnojenergeticheskij kadastr rek Kazahskoj SSR / N. S. Kalachev, L. D. Lavrenteva; Pod obsh. red. akad. Sh. Ch. Choki-na; Akad. Nauk KazSSR. Gos. kom. Po jenergetike i jelektrifikacii SSSR. In-t jenergetiki. Alma-Ata: Nauka, 1965. 707 p. (in Russ.).
- [5] Resursy poverhnostnyh vod SSSR. Vol. 14. Srednjaja Azija. Vyp. 1. Bassejn r. Syr-Darja. L.: Gidrometeoizdat, 1969. 441 p. (in Russ.).



Е. Г. Крупа<sup>1</sup>, С. М. Романова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Зоология институты, ҚР БЖҒМ, Алматы, Қазақстан,

<sup>2</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

### ОҢТҮСТІК-ҚАЗАҚСТАН ОБЛЫСТЫҚ АЙМАҒЫНДАҒЫ АРЫС ӨЗЕНІ МЕН СУ ҚОЙМАСЫНЫҢ ГИДРОХИМИЯСЫ

**Аннотация.** Қазіргі бағыттағы нұсқаулыққа сәйкес, Оңтүстік Қазақстан облыстық аймағында орналасқан Арыс өзенінің сулары мен су қоймалары және бассейндеріне, ағын суларға далалық және зертханалық гидрохимиялық зерттеу жұмыстары жасалып, нәтижелері келтірілді. Халықаралық қоршаған ортаны қорғау ережесі мен мониторингісіне сәйкес ішуге жарамды суларға гидрохимиялық практикада қолданылатын судың жалпы химиялық құрамындағы компоненттер анықталды.

Нәтижесінде, 2016 жылдың жаз мезгілінде Арыс өзенінің су қоймасындағы судың құрамындағы, шамамен 96,2-ден 526,0 мг/дм<sup>3</sup> – дейін тұз иондары бар екені анықталды. Судың жалпы кермектілігі 1,15-ден бастап 5,10 мг-экв./дм<sup>3</sup>-ге дейін өзгерді. Құрамындағы нитрит иондарының мөлшері 0,006–0,110 шамасында болса, нитрат иондары 0,005–9,357, аммоний ионы 0,01–0,09, темір-0,240–1,344, марганец 0,00–0,125, кремний- 2,13–7,80 мг/дм<sup>3</sup>.

Сәкесінше, мынандай заңдылықтар анықталды: су қоймасының биіктігі төмендеген сайын оның температурасы, жалпы минерализациясы мен судың кермектілігі, сондай-ақ құрамындағы жалпы азот, кремний және марганец мөлшердері артады. Кеңістікте темірдің таралуы және органикалық заттардың жеңіл тотықсыздануы мен жалпы сипаттамасы сызықтық тренд бойынша макималды мәндер орта шенінде байқалды.

**Түйін сөздер:** табиғи сулар, химиялық құрамы, минерализациялау, негізгі иондар, биогендік элементтер, органикалық заттар, судың сапасы.

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 4, Number 424 (2017), 90 – 97

**R. B. Isabekov, N. M. Itemen, Sh. G. Kurmangaliyeva**

LLC "Institute of Hydrogeology and Geocology named after U. M. Akhmedsafin ", Almaty, Kazakhstan

### **ANALYSIS TECHNOLOGY OF EXTRACTION STRONTIUM FROM NATURAL BRINE**

**Abstract.** In this article are given results analysis of information sources on the extraction of strontium from natural brines and its use in various areas of the national economy. According to the results of research conducted on the territory of Kazakhstan, industrial groundwater (natural brines), are concentrated in the Caspian province with four areas of industrial waters, Mangyshlak–Ustyurt province with two areas of industrial waters and Shu-Sarysu province with three areas of industrial waters. It was noted considerable resources brines in which the concentration of rare elements, alkali metal salts of mineral reach an industrial scales. One of the rare metals used in industry is strontium, belonging to the group of alkaline-earth elements. The main fields of application of strontium, its alloys and compounds are pyrotechnics, radio electronics, metallurgical, chemical and ceramic industries.

The results of this analysis suggest that use of reservoir brines to extract useful components will not only enhance the efficiency investment and industrial mineral raw materials, but also to solve the problems of the environment protection, rational and comprehensive utilization of mineral resources.

**Keywords:** natural brines, strontium, extraction technologies.

УДК 553.7; 556.314

**Р. Б. Исабеков, Н. М. Итемен, Ш. Г. Курмангалиева**

ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина», Алматы, Казахстан

### **АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗВЛЕЧЕНИЯ СТРОНЦИЯ ИЗ ПРИРОДНЫХ РАССОЛОВ**

**Аннотация.** Приведены результаты анализа информационных источников по извлечению стронция из природных рассолов и его использованию в различных областях народного хозяйства. По результатам исследований, проведенных на территории Казахстана, промышленные подземные воды (природные рассолы), сосредоточены в Прикаспийской провинции с четырьмя областями промышленных вод, Мангышлак–Устыртской провинции с двумя областями промышленных вод и Шу-Сарысуйской провинции с тремя областями промышленных вод. Отмечены значительные ресурсы рассолов, в которых концентрации редких элементов, щелочных металлов, минеральных солей достигают промышленных масштабов. Одним из редких металлов, используемых в промышленности, является стронций, относящийся к группе щелочноземельных элементов. Основными областями применения стронция, его сплавов и соединений являются пиротехника, радиоэлектроника, металлургическая, химическая и керамическая промышленности.

Результаты проведенного анализа позволяют предположить, что использование пластовых рассолов для извлечения полезных компонентов будет способствовать не только повышению эффективности инвестиций

и обеспечению промышленности минеральным сырьем, но и решению проблем охраны природной среды, рационального и комплексного использования полезных ископаемых.

**Ключевые слова:** природные рассолы, стронций, технологии извлечения.

На территории Республики Казахстан сосредоточены огромные ресурсы промышленных подземных вод. В подземных рассолах отмечены промышленные концентрации редких элементов, щелочных металлов, минеральных солей. Интерес к промышленным подземным водам, как к объекту использования, в последнее время все больше возрастает, но, несмотря на это, они остаются нетрадиционным сырьем и опыт их переработки ограничен. Количество компонентов, извлекаемых из подземных, а тем более попутных вод, невелико. Возможности комплексного использования промышленных подземных вод как источника редких элементов остаются низкими, что связано, в первую очередь, с отсутствием эффективных технологий их переработки [1].

В ряде стран (США, Италия, Израиль, Япония, Новая Зеландия, Исландия, Австралия и др.) имеется определенный опыт по промышленному использованию гидроминерального сырья и в этих же странах постоянно и планомерно ведутся технологические исследования для разработки методов извлечения ценных элементов из конкретных геохимических типов природных вод. Целесообразность и экономическая эффективность переработки гидроминерального сырья подтверждается длительной добычей во многих странах лития, йода, брома, калия. Увеличение спроса на редкие металлы, Sr, В, Вг, I объясняется широким их использованием во многих отраслях промышленности [2].

Промышленные подземные воды по результатам проведенных исследований на территории Казахстана сосредоточены в Прикаспийской провинции с четырьмя областями промышленных вод, Мангышлак – Устюртской провинции с двумя областями промышленных вод и Шу-Сарысуйской провинции с тремя областями промышленных вод. Одним из редких металлов, используемых в промышленности, относящихся к группе щелочноземельных элементов, является стронций. Содержание стронция в подземных водах провинций [3, 4] отражено в таблице 1.

Содержание стронция в земной коре составляет 0,0384%. Он является пятнадцатым по распространенности и следует сразу за барием, немного уступая фтору [5]. Стронций содержится в природных водах. В морской воде его концентрация составляет 8–13 г/м<sup>3</sup>. Это означает, что в водах Мирового океана содержатся миллиарды тонн стронция. Минеральные воды, содержащие стронций, считают перспективным сырьем для выделения этого элемента [6].

Таблица 1 – Содержание стронция в подземных водах провинций промышленных вод Казахстана

Table 1 – Содержание стронция в подземных водах провинций промышленных вод Казахстана

Провинция, область промышленных вод	Глубина залегания, м	Минерализация, г/дм <sup>3</sup>	Дебит скважин, м <sup>3</sup> /сут	Sr, мг/дм <sup>3</sup>
Прикаспийская провинция				
Северо-Прикаспийская область редко-металльных и йодо- бромных вод	2500-5000	88–408	1–50	70–8100
Область йодных вод Актобинского Приаралья	1800-2600	16–23	до 25	1–29
Южно-Эмбинская область бромных вод	640–2800	117–252	до 17	68–900
Восточно Прикаспийская область йодо-бromo-литиево-стронциевых вод	1200-4500	100–270	8–25	450–600
Мангистау-Устюртская провинция				
Южно Мангистау Устюртская область поликомпонентных вод	960–2800	120–200	8–17	320–560
Бузачинско-Северо Устюртская область йодо-бромных вод	1000-2700	100–210	4–25	–
Шу-Сарысуйская провинция				
Кокпансорская область редкометалльных вод	570–3500	30–150	3–35	до 1500
Моинкумская область редкометалльных вод	870–2500	130–320	2–25	540–3500
Терсбулакская область редкометалльных вод	2900-3500	300–320	–	–

В океане часть стронция концентрируется в железомарганцевых конкрециях. Стронций накапливается также простейшими морскими организмами – радиоляриями, скелет которых построен из  $\text{SrSO}_4$  [7]. В подземных минеральных водах содержится до 50 г/м [8].

Соответственно 24% мировых запасов стронция находится в подземных водах [9]. Стронций традиционно извлекается из обогащенных стронцием минералов. В свободном виде стронций не встречается. Он образует около 40 минералов. Наиболее важный из них – целестин  $\text{SrSO}_4$ . Добывают также стронцианит  $\text{SrCO}_3$ . Стронций присутствует в качестве изоморфной примеси в различных магниевых, кальциевых и бариевых минералах. Наиболее крупные залежи целестина – в Мексике, Испании и Турции. В России подобные месторождения есть в Хакасии, Пермской и Тульской области. Однако потребности в стронции в России удовлетворяются, в основном, за счет импорта, а также переработки апатитового концентрата, где карбонат стронция составляет 2,4%. Доскональная оценка мировых промышленных ресурсов стронция не проводилась, но по оценке Геологической службы США они превышают 1 млрд. т. По предварительным данным той же Геологической службы США мировая добыча стронция в 2009 г. снизилась относительно уровня 2009 г. на 15% – до 420 тыс. т. По добыче основного стронциевого минерала – целестина в мире лидируют КНР, Испания и Мексика. Однако в ближайшей перспективе в Мексике и Испании ожидается снижение его производства. На фоне появления новых китайских поставщиков сырья и снижения мирового спроса на стронций со стороны производителей электроннолучевых трубок в Испании к концу 2009 г. должны были закрыться ключевые целеститовые рудники и стронциевые рафинировочные предприятия [10].

Основными областями применения стронция, его сплавов и соединений является *пиротехника, радиоэлектроника, металлургическая, химическая и керамическая промышленности* [11].

Стронций применяется для легирования меди и некоторых её сплавов, для введения в аккумуляторные свинцовые сплавы, для десульфурации чугуна, меди и сталей.

*Металлотермия.* Стронций чистотой 99,99–99,999 % применяется для восстановления урана.

*Магнитные материалы.* Магнитотвёрдые ферриты стронция широко употребляются в качестве материалов для производства постоянных магнитов.

*Пиротехника.* В пиротехнике применяются карбонат, нитрат, перхлорат стронция для окрашивания пламени в карминово-красный цвет. Сплав магний-стронций обладает сильнейшими пирофорными свойствами и находит применение в пиротехнике для зажигательных и сигнальных составов.

*Ядерная энергетика.* Уранат стронция играет важную роль при получении водорода (стронций-уранатный цикл, Лос-Аламос, США) термохимическим способом (атомно-водородная энергетика), и, в частности, разрабатываются способы непосредственного деления ядер урана в составе ураната стронция для получения тепла при разложении воды на водород и кислород.

Оксид стронция применяется в качестве компонента сверхпроводящих керамик.

*Вакуумные электронные приборы.* Оксид стронция, в составе твёрдого раствора оксидов других щёлочноземельных металлов – бария и кальция ( $\text{BaO}$ ,  $\text{CaO}$ ), используется в качестве активного слоя катодов косвенного накала в вакуумных электронных приборах.

*Химические источники тока.* Фторид стронция используется в качестве компонента твердотельных фторионных аккумуляторных батарей с большой энергоёмкостью и энергоплотностью.

Сплавы стронция с оловом и свинцом применяются для отливки токоотводов аккумуляторных батарей. Сплавы стронций-кадмий для анодов гальванических элементов.

*Медицина.* Изотоп с атомной массой 89, имеющий период полураспада 50,55 суток, применяется (в виде хлорида) в качестве противоопухолевого средства [12,13].

Природная вода представляет собой сложную динамическую систему, истинно растворенное состояние в которой характерно для различных минеральных солей. В коллоидном состоянии в воде могут находиться различные минеральные и органические частицы почв и грунтов, гумусовых веществ, гидроксиды и др., во взвешенном - глинистые, песчаные, известковые частицы. Если взвешенные вещества из воды можно довольно легко удалить в процессе ее очистки с использованием методов, основанных на действии гравитационных сил и сил адгезии, а коллоидные частицы - методом коагулирования, то истинные растворы являются устойчивыми термодинамическими системами и могут неопределенно долго существовать без изменений. В связи с тем,

что на практике приходится в большинстве случаев иметь дело с истинными растворами различных веществ, необходима разработка технологий извлечения ценных компонентов из водных растворов.

Для извлечения ионов металлов из рассолов можно применять различные сорбционные технологии, такие как: элюентное разделение, вытеснительная хроматография [14-18].

Сотрудниками ИрГТУ была разработана принципиальная технологическая схема извлечения стронция из рассолов на основе применения сорбционной технологии. Особенность изучаемых рассолов заключалась в том, что они являлись высокоминерализованными растворами, концентрация солей достигала 300 г/л. В качестве сорбента на основе проведенных ранее исследований по извлечению стронция из рассолов рекомендован широко применяемый в процессах водоподготовки катионит КУ-2х8 в солевой форме. После сорбции катионит, насыщенный извлекаемым компонентом, подвергался обработке соляной кислотой концентрации 0,5 N. Элюаты, богатые по содержанию в них стронция, направлялись на термическое упаривание с отдельной кристаллизацией солей в выпарной установке. Фильтрат после сорбции направлялся на получение хлорида натрия. В результате обессоливания в выпарной установке получались следующие продукты: хлорид стронция  $\text{SrCl}_2$  (95–98%), хлорид натрия  $\text{NaCl}$  (97%), и обессоленная вода, которая могла использоваться на хозяйственно-бытовые и технологические нужды. Важным фактором, указывающим на преимущество технологии, являлась экологичность. В результате реализации технологии снижалось воздействие соленых вод на экосистему горнодобывающих регионов, в частности, уменьшался сброс стронция, натрия, кальция и хлоридов в поверхностные водоемы [19, 20].

Извлечение стронция из подземных вод представляет определенные трудности, в первую очередь связанные с отделением его от кальция. Данные металлы в подземных водах являются геохимическими аналогами, причем накопление стронция в рассолах напрямую связано с содержанием в них кальция, и максимальные концентрации стронция приходятся на воды именно Са-С1 типа [19, 20].

К недостаткам данного метода относится использование значительных объемов органической фазы, что вызовет трудности при промышленном применении. Опыт использования данной технологии для переработки рассолов на Удачинском ГОКе показал его низкую экономическую эффективность. Разработана технология сорбционного извлечения стронция из минерализованных вод [21].

Одним из наиболее известных методов выделения стронция из водных растворов является осаждение этого металла трудно растворимыми химическими соединениями. Извлечение стронция из рассолов возможно также экстракцией нефтяными кислотами [22].

Ионообменная хроматография также нашла широкое применение для концентрирования микроколичеств стронция, отделения стронция от элементов других групп и от других щелочно-земельных элементов. Используется как катионообменная, так и анионообменная хроматография. Для разделения смесей металлов часто применяются растворы их простых солей - хлоридов или нитратов, а также соляная и азотная кислоты [23-25].

Большинство работ по сорбционному выделению стронция проводилось в лабораторных условиях и, как правило, из искусственно приготовленных растворов, содержащих незначительные концентрации макрокомпонентов, и, в частности, солей кальция. Во ВСЕГИНГЕО совместно с ИПКОН АН СССР разработана комбинированная схема электрохимической обработки стронциевых растворов и ионного обмена, позволившая до начала осаждения стронция полностью извлечь из раствора магний и на 85–95 % кальций. После удаления основных количеств кальция и магния катион стронция сорбируется различными катионитами со значительно более высокими емкостями [26, 27].

На Гаурдакском ПО «Туркменминерал», на Небит-Дагском йодном заводе разработана комплексная технология переработки йодо – бромных вод в том числе стронция из концентрированных рассолов. Концентрация стронция в рассоле после извлечения лития составляет  $5,9 \text{ кг/м}^3$ . Стронций извлекают методом соосаждения с сульфатом бария. В результате соосаждения сульфатом бария образуется смесь сульфатов стронция и бария. Эту смесь разлагают путем их карбонизации. Технологические процессы периодические.

Степень извлечения стронция 65–67%. Конечный продукт - стронций углекислый по ГОСТ 2821-75 с содержанием основного вещества 95% [28].

Разработаны физико-химические основы комплексной переработки высокоминерализованных стронций содержащих рассолов и коллекторно-дренажных вод и условия разделения кальция и стронция на карбоксильном катионите КБ-4П2 ( $\text{Ma}^+$ ) в хлор-натриевых рассолах при исходной концентрации кальция не более 2 г/л. А также разработан способ селективного извлечения стронция из рассолов сложного состава с высоким содержанием кальция методом соосаждения с сульфатом бария [28].

Институтом проблем геотермии Дагестанского центра г. Махачкалы был изучен процесс электросорбции ионов стронция и кальция на активированном угле СИТ-1 [29].

ПО «Маяк» были проведены исследования сорбции стронция фитосорбентом, и рекомендовано его применение для доочистки низкоактивных растворов с низкосолевым уровнем минерализации при большой загрузке сорбента по массе [30].

На опытной базе ГЕОХИ РАН на Сахалинской ГРЭС была изготовлена опытная установка для извлечения стронция и испытана в составе пилотного стенда комплексной переработки морской воды. Исследована и показана возможность извлечения стронция при фронтальном разделении раствора смеси ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ) на карбоксильном ионите в Na-форме, так и в смешанной Na, Ca-форме. Показано, что полностью элюировать  $\text{Sr}^{2+}$  из ионита можно растворами смеси хлорида натрия и кальция или практически чистого хлорида натрия [31].

Значительное количество протекающих в природе процессов по своей сути являются ионообменными. Переход вещества в данную фазу из другой фазы в процессе установления межфазового распределения веществ можно рассматривать как процесс поглощения или сорбции вещества данной фазой.

Существование различных состояний одного и того же элемента в водах (а в этой работе рассматриваются рассолы, содержащие не только большое количество макро- и микрокомпонентов, но и характеризующиеся пребыванием одного компонента в различных соединениях) влияет на результаты их участия в ионообменном процессе и процессах сорбции, так как в обмен вступают не простые катионы и анионы, а совершенно иные соединения - соединения иного заряда и даже знака заряда. Течение и характер взаимодействия фаз гетерогенной системы, а, следовательно, течение и характер сорбционных процессов, зависят от агрегатного состояния фаз, свойств и состава всех компонентов системы [32-34].

Разрабатывалась технология использования рассолов Удачинского и Коршуновского ГОКов в качестве гидроминерального сырья для ионообменного селективного извлечения щелочных и щелочноземельных металлов на основании изучения их физико-химического состояния.

В процессе исследований решались следующие задачи:

выявление основных физико-химических параметров исследуемых рассолов с учетом гидратированности ионов и их влияния на селективность ионообменного извлечения;

исследование механизма сорбции ионов стронция на основе математического моделирования кинетики ионного обмена;

выявление влияния параметров состава рассолов на процесс селективного ионообменного извлечения щелочных и щелочноземельных металлов;

разработка принципиальных технологических схем селективного извлечения компонентов из рассолов.

Однако высокая минерализация и богатый покомпонентный состав рассолов значительно усложняет работу, в связи с чем необходимо изучение физико-химических параметров рассолов. Задачей проведенных исследований являлось установление оптимальных параметров ионообменного извлечения ионов щелочных и щелочноземельных металлов из гидроминерального сырья с учетом влияния основных факторов ионообменного процесса. На основании литературных и экспериментальных данных выбирались оптимальные условия их селективного выделения из исследуемых рассолов [35].

Существуют проблемы, связанные непосредственно с использованием промышленных вод в качестве гидроминерального сырья. Они связаны с техническими трудностями их эксплуатации, а также несовершенством технологий комплексного извлечения содержащихся в минерализованных водах компонентов.

При этом, гидроминеральное сырье в сопоставлении с твердыми полезными ископаемыми имеет следующие особенности:

- широкое региональное распространение, значительные геологические запасы, причем запасы некоторых редких металлов в гидроминеральном сырье в несколько раз превышают их запасы в традиционном рудном сырье;

- поликомпонентный состав и возможность комплексной переработки;

- добыча гидроминерального сырья не требует значительных горных отводов и выполнения капиталоемких горных работ, а в некоторых случаях возможность использования попутно добывающихся минерализованных и пластовых вод в процессе разработки месторождений полезных ископаемых значительно упрощает и удешевляет технологию;

- для улучшения технологических показателей переработки гидроминерального сырья подземные воды могут легко обогащаться путем предварительного концентрирования;

- возможность механизации и автоматизации процессов добычи, сбора и транспортировки промышленных вод.

Использование пластовых рассолов для извлечения полезных компонентов будет способствовать не только повышению эффективности инвестиций и обеспечению промышленности минеральным сырьем, но и решению проблем охраны природной среды, рационального и комплексного использования полезных ископаемых

На основании изученных материалов наиболее перспективно использовать в качестве основного технологического метода ионный обмен. Это метод позволяет в промышленных условиях, используя широкий спектр ионообменников, работать с высокоминерализованными рассолами, а также максимально разделить микро- и макрокомпоненты из природных рассолов.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] Шадрюнова И.В., Зелинская Е.В., Волкова Н.А., Орехова Н.Н. Проблемы и перспективы освоения ресурсов гидроминерального сырья // Материалы Международного совещания «Современные процессы комплексной и глубокой переработки труднообогатимого минерального сырья (Плаксинские чтения 2015)». – М.: Пц "РИЭЛ", 2015. – С. 54-58.

[2] Муртазин Е.Ж., Кан С.М., Вялов В.Д., Калугин О.А., Сульдина О.В. Некоторые аспекты распространения промышленных подземных вод Казахстана и перспективы их использования // Известия НАН РК. Сер. геологии и технических наук. – Алматы, 2014. – № 6. – С. 49-54.

[3] Абсаметов М.К., Завалей В.А., Муртазин Е.Ж. Перспективы использования гидроминерального сырья при разведке и добычи нефти // Геология и охрана недр. – 2010. – № 1(34). – С. 64-68.

[4] Абсаметов М.К., Муртазин Е.Ж. Оценка ресурсов месторождений промышленных подземных вод Прикаспийской впадины // Труды международного форума "Наука и инженерное образование без границ", 13-14 ноября 2009 г. – Алматы: КазНТУ, 2009. – С. 201-203.

[5] Онлайн энциклопедия [http://encyclopaedia.bigru.ru/enc/science\\_and\\_technology/STRONTSI.html](http://encyclopaedia.bigru.ru/enc/science_and_technology/STRONTSI.html)

[6] Бурков В.В. Подпорина Е.К. Стронций. Минералогия, геохимия и главные типы месторождений // Труды Ин-та минерал, геохимии и кристаллохимии редких элементов. – М.: АН СССР, 1962. – Вып. 12. – С. 180.

[7] Аналитическая химия стронция. Полуэктов И.С., Мищенко В.Т., Кононенко Л.И., Бельтюкова С.В. – М.: Наука, 1978. – С. 223.

[8] Русанов А.К. Основы количественного спектрального анализа руд и минералов. – М.: Недра, 1971. – 360 с.

[9] Воронов А.Н., Тудвачев А.В. Геологический факультет СПбГУ. Извлечение промышленных компонентов из попутных нефтяных вод // Сайт Экологические технологии <http://www.ecotoc.ru/water/techno/d566>

[10] Информационный бюллетень МЭР РФ // Металлургический бюллетень <http://www.metalbulletin.ru/publications/3678>

[11] <http://metal-archive.ru/legkie-metally/1414-oblasti-primeneniya-stronciya.html>

[12] <https://ru.wikipedia.org/wiki/Стронций>

[13] [http://www.scientificlife.ru/publ/stroncij/primeneniye\\_stroncija](http://www.scientificlife.ru/publ/stroncij/primeneniye_stroncija)

[14] Аренс В.Ж. Физико-химическая геотехнология. – М.: МГТУ, 2001. – С. 656.

[15] Ергожин Е.Е., Высокопроницаемые иониты. – Алма-Ата: Наука, 1979. – С. 303.

[16] Крайнов СР., Швец В.М. Основы геохимии подземных вод. – М.: Недра, 1980. – С. 285.

[17] Михайличенко А.И., Михлин Е.Б., Патрикеев Ю.Б. Редкоземельные металлы. – М.: Металлургия, 1987. – С. 92-113.

[18] Трофименко Н.К., Иониты и их применение. – М.: Московский печатник, 1949. – С. 255.

[19] Русецкая Г.Д., Зелинская Е.В., Горбунова О.И., Гончарова Н.Н. Разработка аналитических методов извлечения и технологии переработки промышленных рассолов // Тезисы докл. международной конф. «CERECO- 94». – Ужгород, 1994. – С. 163.

[20] Горбунова О.И. Разработка технологии извлечения стронция из природных рассолов Коршуновского месторождения: автореф. ... канд. техн. наук. – Иркутск, 1997. – 16 с.

- [21] Леонов С.Б., Зелинская Е.В., Горбунова О.И. Гидроминеральное сырье и проблемы его переработки: Монография. – Иркутск: ИрГТУ, 1999. – 120 с.
- [22] Голуб А.М., Недилько С.А., Зырянова Н.П. и др. Экстракционное выделение стронция нафтеновой кислотой из природных вод повышенной минерализации // ЖФХ. – 1979. – Т. VII, № 2. – С. 269-272.
- [23] Полуэктов Н.С., Мищенко В.Т. Аналитическая химия элементов. Стронций. – М.: Наука, 1978. – С. 222.
- [24] Хмельницкая Т.М. Разработка технологии очистки подземных вод от селена и стронция: Автореф. ... канд. техн. наук. – Кишинев, 1986. – 24 с.
- [25] Стронций. Требования промышленности к качеству минерального сырья: Справочник для геологов. – 1960. – Вып. 70. – 20 с.
- [26] Назарова Г.Н., Костина Л.В., Венкова М.Ю., Ковалева Н.В. Применение электрохимических методов для извлечения некоторых элементов-спутников из минерального сырья // В кн.: Физические и химические воздействия при обогащении полезных ископаемых. – М.: Наука, 1979. – С. 38-51.
- [27] Назарова Г.П. Изучение возможности извлечения ценных компонентов при переработке гидроминерального сырья с помощью электрохимической технологии // В кн.: Физические и химические основы переработки минерального сырья. – М.: Наука, 1982. – С. 169-173.
- [28] Гельдиев О.А., Ходжамамедов А.М. Комплексная переработка подземных промышленных йодо-бромных вод Туркменистана: <https://media.professional.ru/processor/topics/original/2014/11/0/spravka-po-jodu.pdf>
- [29] Свешникова Д.А., Абакаров А.Н. Электросорбция ионов стронция и кальция на активированном угле // Химия и технология воды. – 1993. – Т. 15, № 4.
- [30] Медведева И.Б., Ровный СИ., Величко В.А. Сорбция U, Cs, Sr фитосорбентом 728 при дезактивации жидких радиоактивных отходов низкого и среднего уровня активности // М.: НТЖ «Экология и промышленность России». – 1998. – № 7.
- [31] Николаев Н.Н. Физико-химические основы непрерывного ионообменного процесса извлечения стронция из высокоминерализованных растворов: Автореф. ... канд. хим. наук. – М.: МГУ, 1993. – 20 с.
- [32] Бур Я. Динамический характер адсорбции. – М.: Иностранная литература, 1962. – 290 с.
- [33] Грисбах Р. Теория и практика ионного обмена. – М.: Иностранная литература, 1963. – 499 с.
- [34] Салдадзе К.М. и др. Ионообменные высокомолекулярные соединения. – М.: Госхимиздат, 1960. – 356 с.
- [35] Клименкова С.Б. Совершенствование технологии селективного извлечения компонентов из рассолов на основании изучения физико-химических параметров: Автореф. ... канд. техн. наук. – Иркутск, 2004. – 20 с.

#### REFERENCES

- [1] Shadrinova I.V., Zelinskaya E.V., Volkova N.A., Orekhova N.N. Problems and prospects for the development of resources of hydro-mineral raw materials // Proceedings of the International Meeting "Modern processes of combined and deep processing of hard-to-digest mineral raw materials (Plaksinsky readings 2015)". М.: РИЭЛ, 2015. P. 54-58.
- [2] Murtazin E.Zh., Kan S.M., Vyalov V.D., Kalugin O.A., Suldina O.V. Some aspects of the distribution of industrial groundwater Kazakhstan and prospects of their use // Proceedings of National Academy of Sciences of Kazakhstan, geology and technical science series. Almaty, 2014. N 6. P. 49-54.
- [3] Absametov M.K., Zavalei V.A., Murtazin E.Zh. Prospects using of hydromineral raw materials in exploration and production of oil // Geology and conservation of mineral resources. 2010. N 1 (34). P. 64-68.
- [4] Absametov M.K., Murtazin E.Zh. Estimation of resources of industrial underground water fields in the Caspian depression // Proceedings of the international forum "Science and engineering education without borders", November 13-14, 2009. Almaty: KazNTU, 2009. P. 201-203
- [5] Online encyclopedia [http://encyclopaedia.big.ru/enc/science\\_and\\_technology/Strontsi.html](http://encyclopaedia.big.ru/enc/science_and_technology/Strontsi.html)
- [6] Burkov V.V., Podporina E.K. Strontium. Mineralogy, geochemistry and main types of deposits // Proceedings of the Institute of Mineral, Geochemistry and Crystallochemistry of Rare Elements. М.: AN SSSR, 1962. Issue 12. P. 180.
- [7] Poluektov I.S., Mishchenko V.T., Kononenko L.I., Belyukova S.V. Analytical chemistry of strontium. М.: Science, 1978. P. 223.
- [8] Rusanov A.K. Fundamentals of quantitative spectral analysis of ores and minerals. М.: Subsoil, 1971. 360 p.
- [9] Voronov A.N. and Tudvachev A.V. Geological Faculty of St. Petersburg State University. Extraction of industrial components from associated petroleum waters: Website Ecological technologies <http://www.ecotoc.ru/water/techno/d566>
- [10] Information bulletin of the Ministry of Economic Development of the Russian Federation. Metallurgical Bulletin <http://www.metalbulletin.ru/publications/3678>
- [11] <http://metal-archive.ru/legkie-metally/1414-oblasti-primeneniya-stronciya.html>
- [12] <https://ru.wikipedia.org/wiki/Strontium>.
- [13] [http://www.scientificlife.ru/publ/stroncij/primeneniya\\_stroncija](http://www.scientificlife.ru/publ/stroncij/primeneniya_stroncija)
- [14] Ahrens V.Zh. Physicochemical geotechnology. М.: MGTU, 2001. P. 656.
- [15] Ergozhin E.E. High-permeability ionites. Alma-Ata: Science, 1979. P. 303.
- [16] Krainov S.R., Shvets V.M. Fundamentals of geochemistry of groundwater. М.: Subsoil, 1980. P. 285.
- [17] Mikhailichenko A.I., Mikhlin E.B., Patrikeev Yu.B. Rare-earth metals. М.: Metallurgy, 1987. P. 92-113.
- [18] Trofimenko N.K. Ionites and their application. М.: Moscow printer, 1949. P. 255.
- [19] Rusetskaya G.D., Zelinskaya E.V., Gorbunova O.I., Goncharova H.H. Development of analytical methods for extraction and processing of industrial brines, in Proceedings. International conf. «CERECO-94». Uzhhorod, 1994. P. 163.
- [20] Gorbunova O.I. Development technology extraction of strontium from natural brines of the Korshunovskoye field: the author's abstract. ... cand. tech. sciences. Irkutsk, 1997. 16 p.



- [21] Leonov S.B., Zelinskaya E.V., Gorbunova O.I. Hydromineral raw materials and the problems of its processing: Monograph. Irkutsk: IrGTU, 1999. 120 p.
- [22] Golub A.M., Nedilko S.A., Zyryanova N.P. et al. Extraction selection strontium naphthenic acid from natural increased salinity waters // ZhFH. 1979. Vol. VII, N 2. P. 269-272.
- [23] Poluektov N.S., Mishchenko V.T. Analytical chemistry of elements. Strontium. M.: Science, 1978. P. 222.
- [24] Khmel'nitskaya T.M. Development of the technology of groundwater purification from selenium and strontium: Author's abstract. ... cand. tech. sciences. Chisinau, 1986. P. 24.
- [25] Strontium. Industry requirements for the quality of mineral raw materials. Handbook for geologists. 1960. Vol. 70. 20 p.
- [26] Nazarova G.N., Kostina L.V., Venkova M.Yu., Kovaleva N.V. Application of electrochemical methods extraction of certain elemental satellites from mineral raw materials / In the book: Physical and chemical effects in the enrichment of minerals. M.: Science, 1979. P. 38-51.
- [27] Nazarova G.P. Study possibility of extracting valuable components during processing of hydromineral raw materials by means of electrochemical technology // In the book.: Physical and chemical basis of processing of mineral raw materials. M.: Science, 1982. P. 169-173
- [28] Geldiev O.A., Khodjamamedov A.M. Integrated processing of underground industrial iodine-bromine waters of Turkmenistan: <https://media.professional.ru/processor/topics/original//2014/11/0/spravka-po-jodu.pdf>
- [29] Sveshnikova D.A., Abakarov A.N. Electrosorption of strontium and calcium ions on activated carbon // Chemistry and technology of water. 1993. Vol. 15, N 4.
- [30] Medvedeva I.B., Equal S.I., Velichko V.A. Sorption of U, Cs, Sr phytosorbent 728 when deactivating liquid radioactive wastes of low and medium activity level. M.: NTZh "Ecology and Industry of Russia", 1998. N 7.
- [31] Nikolaev H.H. Physico-chemical basis continuous ion exchange process of extracting strontium vysokomineralizovannyh solutions: Abstract. ... candidate of chemistry. M.: MSU, 1993. 20 p.
- [32] Bur Ya. Dynamic nature of adsorption. M.: Foreign Literature, 1962. 290 p.
- [33] Grissbach R. Theory and Practice of Ion Exchange. M.: Foreign Literature, 1963. 499 p.
- [34] Saldadze K. Ion-exchange high-molecular compounds. M.: Goskhimizdat, 1960. 356 p.
- [35] Klimenkova S.B. Improving technology of selective extraction of components from the brines upon examination of physico-chemical parameters: Abstract. ... cand. tech. sciences. Irkutsk, 2004. 20 p.

**Р. Б. Исабеков, Н. М. Итемен, Ш. Г. Курмангалиева**

«У. М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан

### **ТАБИҒИ ТҰЗДЫҚСУЛАРДАН СТРОНЦИЙДІ АЛУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ТАЛДАУ**

**Аннотация.** Табиғи тұздықсулардан стронцийді алу бойынша ақпарат көздерін талдау және оларды халық шаруашылығында әртүрлі салаларда қолданылу нәтижелері көрсетілген. Қазақстан аумағында жүргізілген зерттеу нәтижелері бойынша өнеркәсіптік жерасты сулары (табиғи тұздықсу) Каспий маңы провинциясының төрт өнеркәсіптік сулар ауданында, Маңғышлақ-Үстірт провинциясының екі өнеркәсіптік сулар ауданында және Шу-Сарысу провинциясының үш өнеркәсіптік сулар ауданында шоғырланған. Тұздықсудың маңызды қоры белгіленген, яғни олардағы сирек элементтер, сілтілі металдар, минералды тұздар концентрациясы өнеркәсіптік ауқымға жетеді. Өнеркәсіпте қолданылатын сирек металдардың бірі сілтілік жер элементтер қатарына жатқызылатын стронций болып табылады. Стронцийді және оның қоспа мен құйындыларын қолданатын негізгі салалар пиротехника, радиоэлектроника, металлургия, химия және керамика өнеркәсіптері болып табылады.

Жүргізілген талдау нәтижелері, табиғи құрауыштарды алу үшін қабатты тұздықсуларды пайдалану, инвестиция тиімділігін жоғарылатуға ғана мүмкіндік туғызып қоймай және өнеркәсіпті минералды шикізатпен қамтамасыз етуге, сонымен қатар қоршаған ортаны қорғау мәселелерін шешу, пайдалы қазбаларды тиімді және кешенді пайдалануын болжауға мүмкіндік береді.

**Түйін сөздер:** табиғи тұздықсу, стронций, алу технологиясы.

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES**

ISSN 2224-5278

Volume 4, Number 424 (2017), 98 – 107

UDC 621.771.26.001

**S. A. Mashekov<sup>1</sup>, B. N. Absadykov<sup>2</sup>, A. E. Nurtazayev<sup>1</sup>, A. S. Mashekova<sup>1</sup>,  
E. Z. Nugman<sup>1</sup>, M. L. Rakhmatullin<sup>1</sup>, A. I. Polechuk<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan,

<sup>2</sup>Kazakh-British technical university, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: mashekov.1957@mail.ru, b\_absadykov@mail.ru, adilghan@mail.ru, mashekovaagerim@mail.ru,  
nugman79@mail.ru, maksimka\_-86@mail.ru, dron\_2483@mail.ru

## **COMPUTER MODELLING OF THE STRIPS ROLLING PROCESS IN THE LONGITUDINAL-WEDGE MILL AND CALCULATION OF IT HEAVY-DUTY ELEMENTS DURABILITY**

**Abstract.** A multifunctional longitudinal-wedge mill (LWM) of new design is presented. Analysis of the results of mathematical modeling of stress-strain state (SSS) of the rolling workpiece and stands of new mill is shown. The mathematical modelling was conducted by the finite element method and by the deformational model of the metal durability. The effect of the multifunctional LWM working roll diameter changes on the SSS of the rolling strips and heavy duty elements of the mill stands was defined. It is shown that new mill has a sufficiently high rigidity of stands design and satisfy the strength requirements. It is noted that rolling strips on the proposed mill does not lead to the longitudinal and transverse gages interference of the finished steel. As a result of SSS modelling of heavy-duty elements of new mill stands the measures for their modernization have been developed.

**Keywords:** mill; rolls; strain-stress state; gage interference; flatness.

**Introduction.** Current development of the rolling production is mainly aimed to improve quality of the rolling strips by assimilation and adaptation of new technique and technology into the production, which provide minimal transverse gage interference and flatness [1]. This is due to the fact that at the moment the production of high-quality copper strips and sheets with a thickness of less than 1 mm, aluminum stripes less than 0.5 mm thick, rolling of precious metals for obtaining billets of the jewelry and electrical industries, etc. is in demand [2].

In recent years, to produce strips with a given thickness, profile, flatness the modern rolling equipment or new designs of the stands are used [1, 3]. Therefore, leading metallurgical and engineering companies modernize and create new rolling equipment, at the same time they improve technological process of rolling. For example, new by design six-roll stands, quarto stands with intermediate rolls, multi-roll stands, etc. allow to regulate the profiles of the roll gap. However, many mills have not found wide application in the production, because of their complexity.

It is well known [4-8] that widely developed methods for regulating the transversal thickness and flatness of the rolled strips are: profiling of the rolls body, regulating thermal convexity, roll-bending of working and supporting rolls, reducing vibration during rolling, regulating the drafting regime of rolling strips, etc. However, the methods listed have drawbacks [4]. For example, the profiling of rolls is appli-

cable only for bands of a certain size. Thermal regulation has a significant inertia. The use of working and supporting rolls bending results in increase of the load on the bearings of the rolls unit and intensive wear of the rolls body.

Besides current trends in the development of specialized equipment for cold rolling sheets and tapes suggest the maximum possible simplification of the structure of rolling mills with simultaneous improvement of the quality of finished metal products [2]. In this case, it is necessary to ensure the maximum flexibility of rolling process setup. One of the main requirements for the development of new equipment is the possibility of upgrading existing rolling mills stands to minimize costs.

On the other hand, at the moment many enterprises, that produce thin bands of metals and alloys, tend to purchase new equipment with a specific design [2, 5]. Consequently, due to very high complexity or the impossibility of their manufacture by third parties, spare parts and component are purchased from the same manufacturer at a relatively high price. Therefore, in this aspect, development of the specialized cold and hot rolling mills is very rampant.

The main technological scheme for the industrial production of cold-rolled or hot-rolled sheets is the process of individual coils rolling of relatively thin strands and strips on the continuous or reversible mills, with the following their slitting along the length and width by the aggregate of longitudinal and transverse cutting [2].

However, in most cases, when rolling strips of non-ferrous, precious and precious metals, specialized mills are used [2]. These mills are limited by the volume of production of finished metal. Therefore, when rolling in these mills, it is difficult to use the original individual coils rolling. Whereas, individual coils rolling has a higher degree of adaptability when producing small batches of bands of different sizes for thickness, length and width. It can be concluded that this method effective for the use in the above-mentioned mills. At the same time, by eliminating the need to use rather complicated winding-tensioning devices and systems of kinematic synchronization of their drives, it is possible to simplify the composition and design of the rolling mill.

The simplest way to improve the quality of the rolled metal is to reduce the diameter of the working rolls, which leads to a reduction in the rolling force, which has a favorable effect on the final product [2,5]. But, often, the diameter reduction of the working rolls is impossible or limited due to the structural features of the frame of the rolling mill stand, also diameter reduction of the rolls leads to increase of roll deflection and decrease of rolling nodes strength. Small diameter of the working rolls can be achieved by using large diameter of the supporting rolls. Such way was exploited in the design of quarto and multi-roll stands of cold rolling mills. However, there are some reasons to study, when the size of the working roll decreased till the values that do not allow using working rolls as driving wheel and the drive is organized on the supporting rolls.

One of the reason is the lack of the support of the working rolls along the rolling axis. For example, in the multi-rolls stands, and this is the reason of rolls bending in the horizontal plane, which negatively affects the quality of the finished product [2]. Another reason is the presence of a buoyancy force due to the fact that the circumferential force directed along the rolling line acts on the working roll from the transmitted moment. In addition, in interest the process of transferring the torque through friction between the rolls, which leads to loss of torque to friction and thus imposes a certain limitation on the possibility of organizing rolling with drive on the support rolls.

In order to eliminate the above problems and obtain high-quality sheets, as well as to reduce the energy-strength parameters, we propose a multifunctional LWM of a new design for rolling thin strips of steels and alloys (Figure 1) [9].

The aim of the work is to consider the possibility of calculating the SSS of the rolls, as one of the heavy-duty parts of multifunctional LWM by the use of developed algorithms.

**Equipment, materials and method of the experiment.** For rolling thin strips with accurate geometrical dimensions, we developed a new multifunctional five-stand LWM with simple design (Figure 1).

Multifunctional LWM for rolling sheets of steel and alloy contains: motors, gearboxes, gear cage, universal spindles, couplings, stands with working and back-up rolls (Figure 1). At this there are two and four back up rolls in the first three stands and in the last two stands respectively. Rotation of the working rolls, which are decreased in the rolling direction, is carried out through the bearing cages by the five gear motors with angular velocity  $\omega = v \cdot R$  (where  $v$ - the rolling speed in each mill stand;  $R$  – the radius of the

work rolls in each mill stand). The distance between the stands are increased by the amount of forward flow, and distance adjustment between the work rolls is made by the uniform worm push mechanisms located above and below of the mill frame assembly and bearing cages.

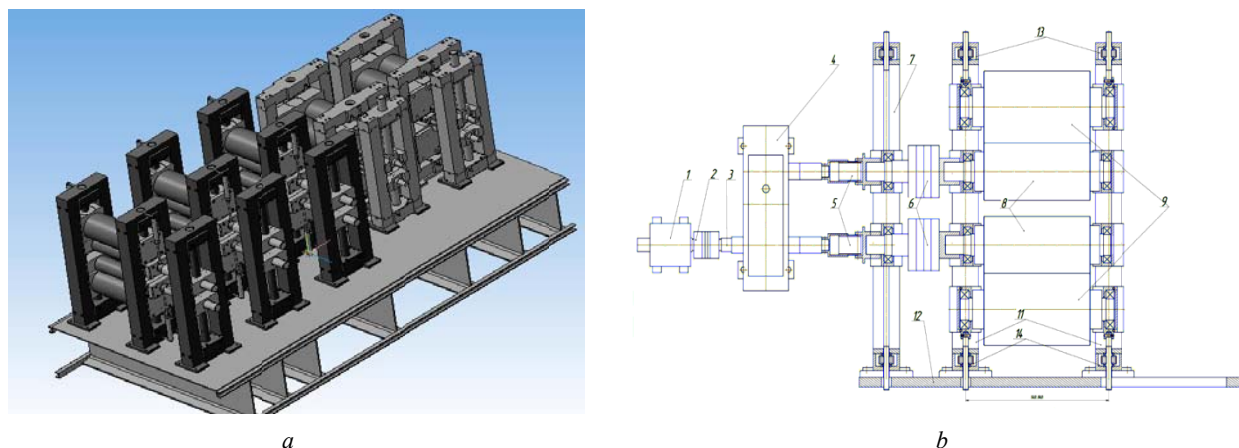


Figure 1 – Multifunctional longitudinal-wedge mill (a) and construction of its working stands (b):  
 1 – gear motor; 2 – gear; 3 – lay shaft; 4 – pinion stand; 5 and 6 – spindles; 7 – bearing stand; 8 – working rolls;  
 9 (first three stands) and 10 (last two stands, not shown) – support rolls; 11 – frame; 12 – shoe plate; 13 and 14 – push mechanism

It should be noted that working rolls in each stand have a constant diameter, and the diameter of the rolls in the sequentially arranged stands is reduced in the rolling direction. In output the thin strip is cut or reeled.

In the work MSC Nastran and MSC.Super Forgesoftware packages are used to solve the problem of elastoplastic by the finite element method in 3D formulation.

MSC.Super Forgesoftware package was used to calculate SSS of the work piece and energy-strength parameters of rolling thin strips. The proposed strips rolling process is complicated enough. It is connected with the fact, that during rolling the workpiece is deformed continuously in all 5 stands with the rolls, which have decreasing diameters in the direction of rolling.

Following steps were stuck to for modelling the research process by using MSC.SuperForge software package [10, 11]:

- 1) depending on the processing conditions, the type of finite-element analysis was chosen;
- 2) geometrical model of original workpiece, rolls and mills were created;
- 3) rheological properties of the workpiece were defined either by database of «MSC.SuperForge» software, or by thermomechanical properties of the workpiece material;
- 4) initial temperature of the rolling workpiece, as well as workpiece and rollcontact conditions on the surface, in other words, friction coefficient, the law of movement of the kinetic tool, were setup.

Further, components of the strain tensor  $\varepsilon$ , components of strain rate tensor  $\dot{\varepsilon}$ , components of the stress tensor  $\sigma$ , intensity of deformation, stress intensity, power of a normal pressure, temperature distribution over the volume of the workpiece were calculated with a fairly rigid precision.

Results of calculations are presented in the form of field distribution of corresponding parameters along the volume of the deformed bode or in the form of numerical values of the studied parameters in the nodes of the deformed mesh.

In the work a 3Dgeometric model of the workpiece and of the rolls was constructed in the CAD Inventor program and then imported into CAE of MSC.SuperForge software. Volume element CTETRA (four nodes tetrahedron) was used to create a 3Dfinite element model of the workpiece and rolls. Time of calculation of the process was 30-40 minutes on a computer Pentium Duo with frequency of 3.4 GHz and 2 GB RAM.

For the research a rectangular billet of AD31 alloy in 3.5 mm thick and 400 mm wide was used. Rolling was carried out at a temperature of 250 °C on the LWM to a thickness of 0.7 mm. To simulate the plasticity of the workpiece material, elastoplastic model of Johnson-Cook was chosen. Rheological properties were set from MSC.SuperForge software system database.

Technical description of the proposed LWM working stands was used to calculate SSS. Material of the tool was 9X1 steel, which was assigned from a database. To do this, the density of the material and the thermal properties was set by the program as default. Contact between the roll and sheet was modeled by Coulomb friction. From the handbook [12] the coefficient of friction as 0.3 was appointed.

Temperature conditions during rolling consists of heat exchange between the roll, sheet and the environment, as well as a thermal effect due to metal deformation. Rolling process takes place at room temperature, so the start roll point taken equal to 20°C.

PATRAN NASTRAN software of finite-element analysis was exploited for SSS and elastic deformation of the stands elements calculations [13, 14]. System of computer modelling PATRAN NASTRAN allows to study kinematics, dynamics of mechanisms with the possibility of calculating the stress-strain and thermal states as individual units, and the mill as a whole.

Following operations were made for construction of the working stands in PATRAN NASTRAN software [13, 14]: 1) creation of a 3D geometric model of every detail and assembling nodes of the working stands; 2) selection of the materials for the details, their mechanical and physical properties (modulus of elasticity, mass density, Poisson's ratio, tensile strength, etc.); 3) formation of the kinetically and statically boundary conditions; 4) SSS definition of the stands mill elements; 5) assessment of the level of obtained elastic deformations and stresses in the volume of each part of the stands on the required stiffness and strength criteria and introduction of relevant amendments to the mill construction (solid model of the mill).

The solid geometric shape of new mill design, the forces applied to them and the fixing conditions, as well as the conjugation conditions of the kinematic pairs of the stands construction are the initial data for the calculation.

The assembly 3D geometric model of the mill was developed in the CAD of COMPASS software, and by the means of built-in translator it was imported into the PATRAN NASTRAN with the adopted kinematic connections. This approach allows improving the connection between the stages of automated design of complex mechanisms. In order to automatically correct the geometry of the mill model, the method of parameterization of the geometric dimensions of the structure was used. This method allows to make appropriate changes in the construction of the stands of the new multifunction mill based on the results of strength calculation.

Six- and eight-nodes dimensional finite elements were exploited to simulate construction of new mill. In addition, twelve types of the stiffness were considered to define the main characteristics of the stiffness of the mill stands.

It has to be noted that the backup of the roll node of the stands was modelled in more detail. The computational model of each spherical roller bearing includes three types of components: an outer, an inner ring and two rows of rollers by 18 in each.

Stress state of heavy duty components of the stands was calculated by applying the rolling force and the effects of thermal stresses. Initial temperature of the rolls was equal to 20 °C.

Kinematic connection between the heavily loaded elements was simulated by the rotating and sliding kinematic pairs for the common surfaces of interface. At the same time the collision and friction in the rolls, pads, bearings, etc. was taken into account.

The interaction between the rigid supporting, working rolls and deformable workpiece material is simulated by means of contact surfaces that describe the contact conditions between the surfaces of the support and working rolls and also the surface of the thin sheet. In the process of modelling the contact conditions are constantly updated to reflect the rotation of the rolls, and the deformation of the material, which allows to simulate the sliding between the back-up and working rolls, as well as between workpiece material. At this in the analytical model linear contacts between the working and back up rolls were taken into account. Contact between the working rolls and a thin sheet is modelled by Coulomb friction with the coefficient of 0.5. In this case, the friction force between rolls taken equal to 0.0868.

It should be noted that the rolls were assembled on the supporting necks of the bearing box by three degrees of freedom  $T_x$ ,  $T_y$ ,  $T_z$ . The material of the rolls has been accepted 9X1 steel with the following mechanical properties: modulus of elasticity -  $2.1 \cdot 10^{11}$  Pa; Poisson's ratio - 0.283; shear modulus -  $8.1839 \cdot 10^{10}$  Pa. The materials for the other elements of the mill are 40HS, St45, etc. with the respective mechanical properties.

Elastic constraints between the stand nodes were modeled by the spring – damper function CBUSH with the following properties: stiffness in movements -  $T_x, T_y, T_z$  -  $1, E+10$  N/m; stiffness in rotations -  $R_x, R_y, R_z$  -  $1, E+8$  N/m; coefficient of structural damping 0.04.

For calculations, the load schemes pointed in Table 1 were used.

The strength and rigidity of the working and supporting rolls of the multifunctional mill were investigated during strips hot rolling (rolling temperature 250 °C). Strips have been made from alloy AD31 with the size of  $0.7 \times 400$  mm. As a starting stock, a tackle of thickness  $h_0 = 3.5$  mm was used. Rolling was conducted by the rational regimes.

Table 1 – Load schemes

Stand	Contact pressure of the rolled strip on the working roll, acting in the direction of roll rotation axis, MPa	The tension pressure, acting in the direction of motion of the rolling strip, MPa	Deformation zone length, mm
1	119.701	16.5	8.992
2	134.555	17.6	8.07
3	115.304	17.42	5.92
4	148.501	16.35	3.93
5	122.421	14.25	2.3

### Results and discussion

Calculation and analysis of the SSS show, that:

1) During rolling in the first stand of LWM the stress and strain intensity localize in the areas of metals capture by the rolls;

2) Increase of the draft leads to increase of the value of the stress and strain intensity in the center and along the edges of the deformed workpiece;

3) Deformation in the next stands of the LWM allow to gradually transfer zones of deformation massing from the surface areas to the central layers of the workpiece, and after uniformly deform the strip along the whole its length;

4) Uniform distribution of the stress and strain intensity by the mill stands leads to uniform distribution of shear strain intensity along the deformation zone;

5) The most uniform distribution of the cumulative distribution along the high and length of the rolled strip was got during rolling with the draft of 20% in the first stand, 20% in the second stand, 20% in the third stand, 15% in the fourth stand, 10% in the fifth stand;

6) During rolling in the stands of LWM the temperature rises in the zones of deformation localization, at this the metals parts with relatively high temperature move together with the deformation zone;

7) The maximum value of the contact pressure concentrates in the middle of the body roll length.

Conducted research showed, that during hot rolling of the strips made of AD31 alloy with the width of 400 mm, big values of equivalent stresses did not occur along the cross section of the strip (Figure 2). The maximum von Mises value equals to 127.3 MPa for the first stand, 211.9 MPa for the second stand, 106.6 MPa for the third stand, 124.9 MPa for the fourth stand, 123.6 MPa for the fifth stand. Meanwhile the maximum vales occur in the rolls necks of the mill. Calculated maximum values of the equivalent stresses do not exceed maximum allowed value of the stress limit for the 9X1 steel (880 MPa).

It has to be noted, that the proposed mill is supposed to use for hot rolling strips with the width of 600 mm (maximum) made of different steels, and also non-ferrous metals. This may lead to some decrease or increase of equivalent stresses along the cross-section of the rolls of multifunctional mill.

It has to be noted that the calculated values of the von Mises equivalent stresses do no exceed the upper level of the allowed contact-fatigue stresses. This means, that even small deviation of the technological process will not lead to the defects on the rolls surface: cracks, chipping, spalls.

The rotation of the working stands rolls through the bearing stand allows to position the spindles precisely horizontally, and the use of special design spindles made it possible to eliminate the horizontal displacement of working rolls. The above features of the projected mill enabled a low vibrational load to transmit the torques to the working rolls of mill stands. All this should contribute to obtaining bands with exact geometric dimensions.

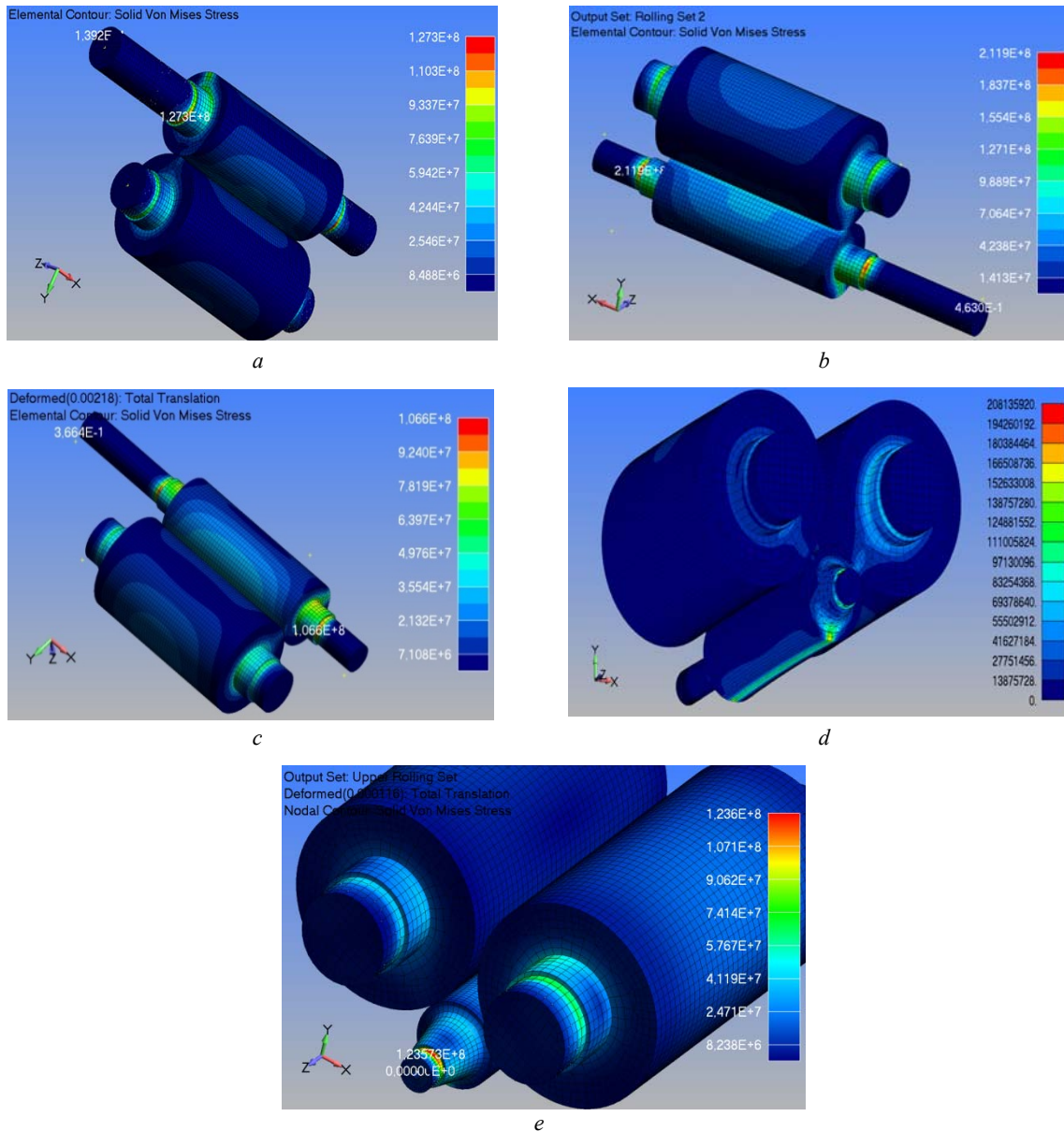


Figure 2 – The picture of von Mises stress distribution in the backup and working rolls in the first (a), second (b), third (c), fourth (d) and fifth (e) stands of the multifunctional mill

Under the action of the applied vertical forces (along the Y axis), the rolls bend in the direction of the force action. In other words, the maximum forces occurring in the Y-axis direction lead to the appearance of maximum deflections in the same rolling direction. Therefore, the body and the neck of the rolls are elastically deformed in the vertical direction.

When rolling in the stands of LWM in the middle of the backup rolls body in the direction of the Y axis the maximum displacement occurs. The values are indicated in table 2.

Table 2 – The maximum values of displacement

Stands	1	2	3	4	5
In the middle of the backup rolls body, mm	0.000106	0.0002792	0.00006738	0.00003579	0.00006721
In the neck of the backup rolls, mm	0.00005351	0.0001275	0.00002573	0.00003161	0.00004161
In the body of the working rolls, mm	0.00009316	0.0002064	0.00005269	0.0002035	0.0001711
In the neck of the working rolls, mm	0.00006158	0.0001327	0.0000246	0.00009611	0.0001125

Small forces that occur in the direction of the rolling axis, i.e. X axis, lead to the appearance of small elastic movements of the rolls material in the same direction. Moreover, when rolling in the first, second, third stands of the proposed mill from the opposite side of the stands drive, the maximum displacement values appear at the edges of the backup rolls body, which are equal to 0.00002788 mm; 0.00006604 mm; 0.00001945 mm, respectively, while the same displacements occur in the necks of the corresponding backup rolls. The results of the calculation showed that when rolling in the first, second, third stands, the maximum value of lifts in the working rolls also arise from the opposite side of the stands drive of the mill. Their values for the body and neck of the working rolls of the first, second, third stands are respectively: 0.00002555 mm; 0.00006126 mm; 0.00002087 mm. It should be noted that when rolling in the fourth and fifth stands of the new mill, the maximum displacement occurs in the middle of the backup and working rolls body. In this case, the maximum displacement values for the working rolls body are: 0.0001251 mm; 0.00005497 mm, and for the neck of these rolls - 0.00008638 mm; 0.00004047 mm, respectively. The results of the calculation showed that the following maximum values of displacements appear in the supporting rolls body of the last marked stands, correspondingly: 0.00006695 mm; 0.00009568 mm. In this case, the following maximum values of displacements appear in the necks of the backup rolls of these stands, correspondingly: 0.00005204 mm; 0.00006797 mm.

Small forces, arising perpendicular to the rolling axis, i.e. Z axis, lead to the appearance of the elastic movements of the rolls material in the same direction. Moreover, when rolling in the fourth and fifth stands of the proposed mill from the opposite side of the stands drive, maximum values of displacements equal to 0.000003809 mm appear on the edges of the roll of the backup rolls; 0.000008941 mm, respectively, while the same movements occur in the necks of the corresponding backup rolls. The results of the calculation showed that when rolling in the fourth and fifth stands of the new mill, the maximum value of the movements in the working rolls also arise from the opposite side of the stands drive of the mill. Their values for the body and neck of the working rolls of the fourth and fifth stands are respectively: 0.00003221 mm; 0.000026555 mm. It should be noted that when rolling in the first, second and third stands of the new mill, maximum displacement occurs in the drums of backup and working rolls. In this case, the maximum displacement values for the backup rolls body are: 0.0004572 mm; 0,00127 mm; 0.0003196 mm, and for the neck of these rolls - 0.0005040 mm; 0.001413 mm; 0.0003587 mm, respectively. The results of the calculation showed that in the working rolls body of the last marked stands the following maximum values of displacement occur (correspondingly): 0.0004106 mm; 0.001160 mm; 0.000363 mm. Moreover, in the necks of working rolls of these stands, the following maximum values of displacement appear (correspondingly): 0.0003736 mm; 0.001064 mm; 0.0002715 mm. It should be noted that the elastic movements of the rolls material in the direction of Z axis during rolling in the stands with two backup rolls are definitely greater, compared to rolling in the stands with four backup rolls.

In general, the magnitude of the total displacement field of the elastic deformations of the backup and working rolls is small (Figure3). In this case, in the first three stands the maximum total displacement occurs in the backup rolls (first stand: 0.0005762 mm, second stand: 0.001631 mm, third stand: 0.0004185 mm), and in the last two stands - in the working rolls (fourth stand: 0.0000866 mm, fifth stand: 0.000116 mm). All this testifies to the relatively high rigidity of the working stands rolls node, which guarantees the transversal thickness and flatness of the rolled strips within the required tolerances.

Thus, the greatest for all working rolls of the mill stands are the movements along the rolling force action (along the Y axis). The displacements along the X and Z axes are almost equivalent. For backup rolls deformations along the Y and X axes are essential, whereas for the working rolls and bearings along the Y and Z axes.

When rolling thin strips in the stands of a new mill, due to the decrease in the length of the capture arc during the transition from the first to the last stand, the length of the deformation center decreases (see above). Such a decrease in the length of the deformation center gives an advantage to the proposed rolling process before the conventional rolling process. Advantages of the rolling process in the new mill are that the metal pressure on the working rolls significantly (from 2 to 10 times) decreases. This makes it possible to significantly reduce the elastic deflection, especially of the rolls of the last mill stands and, as a consequence, reduce the transverse thickness and improve the flatness of the rolled strips, as well as to reduce the metal capacity of the rolling equipment, when designing and launching rolling mills of a new design.



The initial results of the calculation showed that the rolls nodes have low rigidity in the horizontal plane in the projected LWM. This is due to the deficiency of the support in the mill stands, which excludes the movement of the working rolls in the horizontal plane, and also not horizontal arrangement of the mill drive spindles. As a result, even small gaps between bearings, cushions and window frames, caused by tolerances of landings and wear, lead to horizontal displacements of the vertical axial plane of the working rolls relative to the backup rolls, i.e. working rolls are in an unstable position, and their axes could be skewed. This leads to negative consequences: increased vibrations, axial forces arise in the roll node, and the size of the roll gap is subjected to unpredictable oscillations, which reduces the accuracy of rolling.

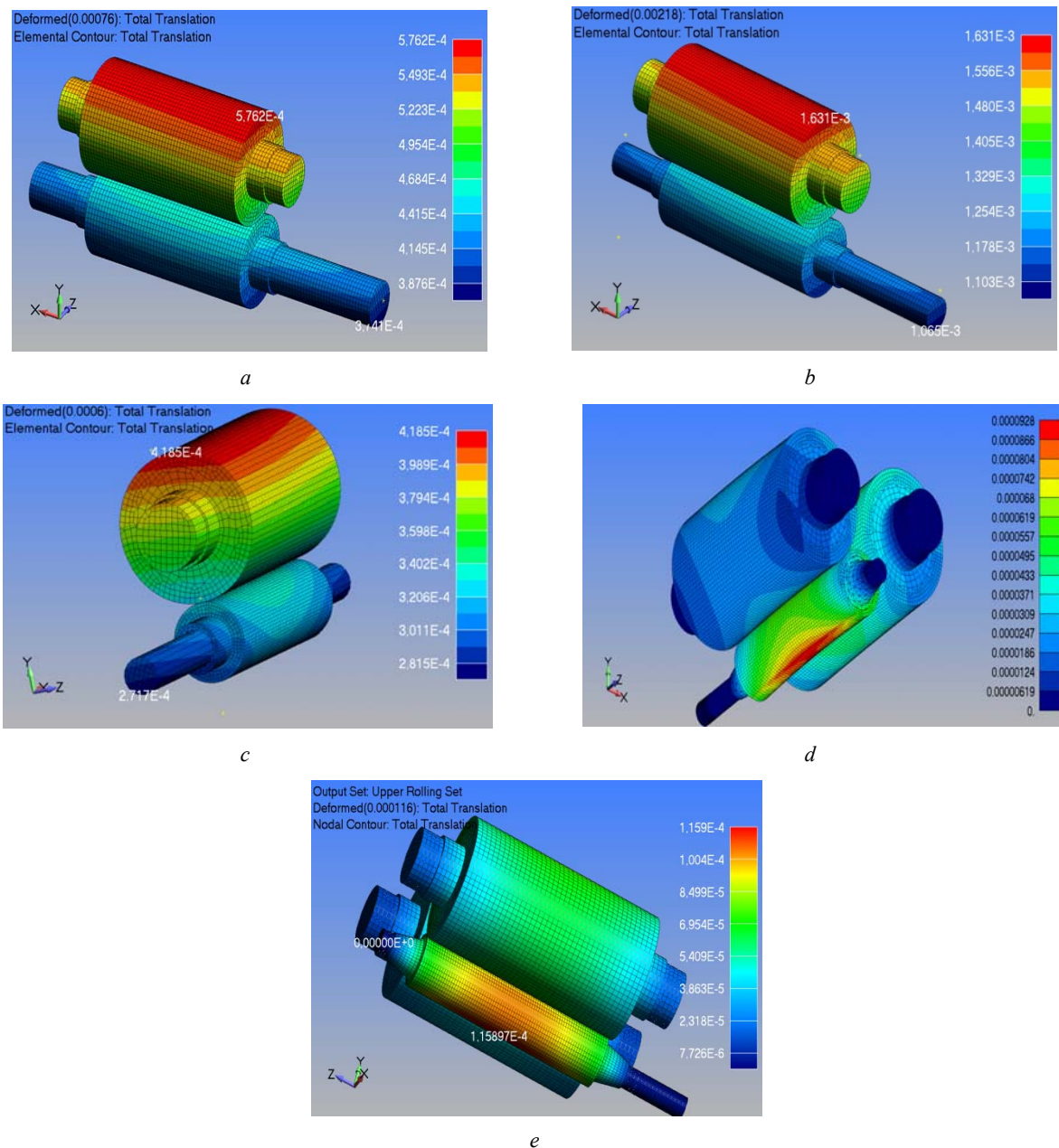


Figure 3 – The picture of the total displacement field of the elastic deformations distribution in the backup and working rolls in the first (a), second (b), third (c), fourth (d) and fifth (e) stands of the multifunctional mill

To eliminate these drawbacks, the design of the stands of the projected multifunctional mill has been adjusted. In the construction of mill stands, bearing stands and spindles of special design were added. The rotation of the rolls of working stands through bearing stands made it possible to position the spindles horizontally, and the use of spindles of a special design allows to eliminate the horizontal displacement of

working rolls. The above-mentioned changes in the design of the projected mill made it possible to transfer the torques to the working rolls of the mill stands without vibration loading. All this contributed to obtaining strips with exact geometric dimensions. In addition, it should be noted that the rotation of the rolls by five AC gear motors through five gear stands allows the rolling strips of steels and alloys with a minimum value of production noise.

#### Conclusion.

1. It is shown, that maximum values of the equivalent stress, arised in the rolls of the LWM, do not exceed the maximum allowed strength limit for the material of the rolls;
2. Based on the obtained results of simulation it was established that the value of the rolls deflection in each stand do not exceed allowed values;
3. It is defined that the value of elastic deformation of the rolls elements is not great, which certifies that the rolls node of new mill stands has high rigidity. This ensures that the cross-sectional thickness and flatness of the rolled strips are obtained within the required tolerances.

#### REFERENCES

- [1] Maximov E.A. (2006) National Metallurgy. Equipment [Natsionalnaya metallurgiya. Oborudovanie]. 9: 45-51. (In Russian)
- [2] Kulik A.N., Yurkov K.Yu., Faichak A.A., Shevchenko V.V. (2008) Protection of metallurgical machines from breakdowns [Zahist metalurgiyinih mashin vid polomok] 10: 17-21(In Russian)
- [3] Maximov E.A. (2010) Metal technology [Tehnologiya metallov] 9: 19 – 24 (In Russian)
- [4] Maximov E.A. (2005) National Metallurgy. Equipment. [Natsionalnaya metallurgiya. Oborudovanie]1: 22-27 (In Russian)
- [5] Mazur V.L., Nogovicyn A.V. (2010) Theory and technology of thin-sheet rolling (Numerical analysis and technical applications) [Teoriya i tehnologiya tonkolistovoy prokatki (Chislennyiy analiz i tehicheskie prilozheniya)]. PBA "Dnipro-VAL", Ukraine. ISBN 978-966-8704-42-0 (In Russian)
- [6] Maximov E.A. (2006) National Metallurgy. Equipment. [Natsionalnaya metallurgiya. Oborudovanie]11: 60 – 65 (In Russian)
- [7] Lunev V.E., Shubin I.G., Romyancev M.I. et al. (2003) Rolled Products [Proizvodstvo prokata] 6: 28 – 29 (In Russian)
- [8] Braunshtein O.E. (2001) Analysis of the reasons for the differences in the thickness of sheets and the ways to eliminate it [Analiz prichin raznotolschinnosti listov i sposoby eyo ustraneniya]. Herald of the mining and metallurgical section of the Russian Academy of Natural Sciences. Department of Metallurgy: Proceedings [Vestnik gorno-metallurgicheskoy seksii RAEN. Otdelenie metallurgii : sb. nauch. tr.], Novokuznetsk, Russia. P. 94. (In Russian)
- [9] Mashekov S.A., Nurtazaev A.E., Nugman E.Z., et al (2011) Continuous rolling mill of thin strips from steel and alloys [Nepreryivnyy stan dlya prokatki tonkih polos iz stali i splavov]. Patent of the Republic of Kazakhstan [Patent Respubliki Kazakhstan]. (In Russian)
- [10] Ivanov K.M., Shevchenko V.C., Yurgenson E.E. (2000) The finite element method in the technological problems of metal proceeding by pressure [Metod konechnyih elementov v tehnologicheskikh zadachah OMD]. Institute of Mechanical Engineering, Russia. (In Russian)
- [11] Soldatkin A., Golenkov Yu., et al (2000) CAD and Graphics [SAPR i grafika] 7: 11 – 13(In Russian)
- [12] Kanavalov Y.V. (2008) The handbook of the roller. Manufacturing of hot-rolled sheets and strips [Spravochnik prokatchika. Proizvodstva goryachekatanyih listov i polos.], Heat Engineering [Teplotekhnika], Russia. ISBN: 5-98457-060-2(In Russian)
- [13] Kopanev D. (2010) Solution of the dynamics problems by means of MSC.Patran-Nastran. User guide[Reshenie zadach dinamiki sredstvami MSC.Patran-Nastran. Rukovodstvo polzovatelya], MSC.Software Corporation, Russia. (In Russian)
- [14] Rybnikov E.K., Volodin S.V., Sobolev R.Yu. (2003) Engineering calculations of mechanical design in the MSC.Patran-Nastran system. Part I and II. User Guide [Reshenie zadach dinamiki sredstvami MSC.Patran-Nastran. Rukovodstvo polzovatelya], MSC.Software Corporation, Russia. (In Russian).

С. А. Машеков<sup>1</sup>, Б. Н. Абсадыков<sup>2</sup>, А. Е. Нуртазаев<sup>1</sup>, А. С. Машекова<sup>1</sup>,  
Е. З. Нугман<sup>1</sup>, М. Л. Рахматуллин<sup>1</sup>, А. И. Полещук<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университет, Алматы, Қазақстан,

<sup>2</sup>Қазақстан-Британ техникалық университеті, Алматы, Қазақстан,

#### БОЙЛЫҚ-СЫНАЛЫ ОРНАҚТА ЖОЛАҚТАРДЫ ІЛЕМДЕУ ПРОЦЕСІН КОМПЬЮТЕРДЕ МОДЕЛЬДЕП АСА АУЫР ЖҮКТЕЛГЕН ЭЛЕМЕНТЕРІНІҢ БЕРІКТІГІН ЕСЕПТЕУ

**Аннотация.** Мақалада құрылымы жаңа көпқызметті бойлық-сыналы орнақ ұсынылған. Шеткі элемент әдістемесін және металл беріктігінің деформациялық моделін қолданып, математикалық модельдеумен алынған жаңа орнақтың ауыр жүктелген элементтерінің және ілемделетін дайындаманың кернеулік-деформа-

циялық күйі мақалада талданып, нәтижесі көрсетілген. Көпқызметті бойлық-сыналы орнақ пішінбіліктері диаметрлерінің өзгеруі, илемделетін дайындаманың және орнақтың ауыр жүктелген элементтерінің кернеулі-деформациялы күйіне қалай әсер ететіндігі анықталған. Жаңа орнақтың қапасында жеткілікті дәрежеде қаттылық және айтылған қапастар беріктік шартын қанағаттандыратындығы жұмыста көрсетілген. Ұсынылып отырған орнақта жұқа жолақты жаймалаған кезде, олардың бойлық және көлденең бағыттарында алақалыңдық пайда болмайтындығы мақалада дәлелденген. Жаңа орнақ қапастарының ауыр жүктелген элементерін модельдеу нәтижесінде, оларды жаңғырту мәселесі шешілген.

**Түйін сөздер:** орнақ, пішінбілік, кернеулік-деформациялық күй, жұқа жолақ, алақалыңдық.

С. А. Машеков<sup>1</sup>, Б. Н. Абсадыков<sup>2</sup>, А. Е. Нуртазаев<sup>1</sup>, А. С. Машекова<sup>1</sup>,  
Е. З. Нугман<sup>1</sup>, М. Л. Рахматуллин<sup>1</sup>, А. И. Полещук<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева,  
Алматы, Казахстан,

<sup>2</sup>Казахстанско-Британский технический университет, Алматы, Казахстан

### КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ ПОЛОС В ПРОДОЛЬНО-КЛИНОВОМ СТАНЕ И РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ ЕГО ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

**Аннотация.** Предложен многофункциональный продольно-клиновый стан новой конструкции. Представлен анализ результатов математического моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) прокатываемой заготовки и клетей нового стана с использованием метода конечных элементов и деформационной модели прочности металла. Определено влияние изменения диаметра рабочих валков многофункционального продольно-клинового стана на НДС прокатываемых полос и тяжелонагруженных элементов клетей стана. Показано, что новый стан имеет достаточно высокую жесткость конструкции клетей и удовлетворяет условию прочности. Отмечено, что прокатка полос на предлагаемом стане не приведет к получению готового проката с продольной и поперечной разнотолщи́нностью. В результате моделирования НДС тяжелонагруженных элементов клетей нового стана разработаны мероприятия по их модернизации.

**Ключевые слова:** стан, валки, напряженно-деформированное состояние, разнотолщи́нность, планшетность.

#### Сведения об авторах:

Машеков С.А. – доктор технических наук, профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева.

Абсадыков Б.Н. доктор технических наук, профессор, Казахстанско-Британский технический университет.

Нуртазаев А.Е. кандидат технических наук, доцент, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева.

Нугман Е.З. кандидат технических наук, доцент, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева.

Машекова А.С., Рахматуллин М.Л., Полещук А.И. PhD студенты, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева.

**NEWS**

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES**

ISSN 2224-5278

Volume 4, Number 424 (2017), 108 – 114

UDC 537.533.3

**A. T. Ibraev, A. B. Sagyndyk**

Kazakh national research technical university named after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: pok\_rk@mail.ru, aiko\_90@mail.ru

**NUMERICAL INVESTIGATION OF THE ABERRATIONAL  
COEFFICIENTS OF A BOX SHAPED CATHODE LENS**

**Abstract.** In the present article, the numerical investigation of the aberration coefficients that determine the electron-optical characteristics of a three-electrode cathode lens is carried out. This paper discusses the theoretical and practical aspects of the design of new cathode electron lenses with two symmetry planes, which ensure a higher quality of focusing of charged particles, which, in their turn, leads to the improvement of the technical characteristics of analytical instruments and processing installations. It is noted that the investigated elements are used in electron microscopes, mass spectrometric devices, as well as in electron-lithographic and ion-lithographic installations of nano and micro electronic technologies. Numerical calculations of the aberration coefficients were performed according to the program for electron cathode lenses with two symmetry planes, provided that it forms a crossover. The aberration coefficients are calculated from complex formulas. In calculating the aberration coefficient, the Simpson formula was used to solve the integral, the fourth-order Runge-Kutta numerical method was used for solving the second-order differential equation. As a result of the calculations, a comparative analysis of the aberration coefficients was carried out. The three-electrode cathode lens discussed in this paper, with certain lens parameters, makes it possible to focus charged particles with the lowest values of aberrations.

**Keywords:** cathode lens, electron, ion, focusing, aberration, instrument.

In order to focus the electron beam in the electron-optical equipment, electronic lenses are used. When they are designed, mathematical modeling plays an important role, which allows to significantly reduce the time and money spent on experiments in order to optimize the performance of lenses. Modeling of electrostatic electronic lenses is performed in two stages: calculation of the electrostatic field and analysis of its electron-optical characteristics [1, 2].

When developing electronic optical devices and devices that include elements of electronic optics, it is very important to consider the amount of influence of each of its elements that affects the quality of the electron-optical image.

Aberrations play an important role in electronic and ion optics. In practice, they limit the possibilities of beam devices. The main aberrations that determine the resolving power of most electronic optical instruments are spherical and chromatic. They cause distortions in the image of source points located both outside the optical axis and on it. For the correction of spherical aberration the multi-electrode lenses - octupoles and sextupoles are usually used [3]. The correction of chromatic aberration up to the present time was carried out mainly with the help of superimposed electric and magnetic quadrupoles [4]. However, the use of a magnetic field has a number of disadvantages that significantly complicate the practical work with the system. The chromatic aberration of a linear image can also be corrected in a purely electrostatic lens.

The problems of aberration reduction in electrostatic lenses are investigated in many scientific works with different methods for improving aberration characteristics, such as the use of different forms of electrodes [5-7]. There are several methods for correcting chromatic and spherical aberrations in electron and ion optics by calculating the drift-transit time of image particles [8,9]. Methods for filtering the effects of spherical and chromatic aberrations of wide acceptance angle electrostatic lenses (WAAEL) are described in [10-21].

The present paper covers the numerical investigation of aberration coefficients of three-electrode cathode lenses with two symmetry planes containing a set of plane electrodes arranged symmetrically and parallel to the symmetry planes of the field.

In the Cartesian  $x, y, z$  coordinate system, the case of a three-electrode cathode lens is to be considered (Figure 1), whose cathode is located in the  $xy$  plane at the value of the third coordinate  $z = 0$ . It is noted that the third coordinate for the considering lens is its main optical axis. The cathode potential is assumed to be zero. Two pairs of flat plate electrodes are symmetrically positioned to the  $xz$  plane, the distance from this plane to the electrodes is assumed equal to  $l_y$ , the other two pairs of flat plate electrodes are symmetrically positioned to the  $yz$  plane at a distance  $l_x$ . In the direction of the main optical axis  $z$ , these pairs of electrodes are separated by a slit located at the  $xy$  plane with the coordinate  $z_1$  [1].

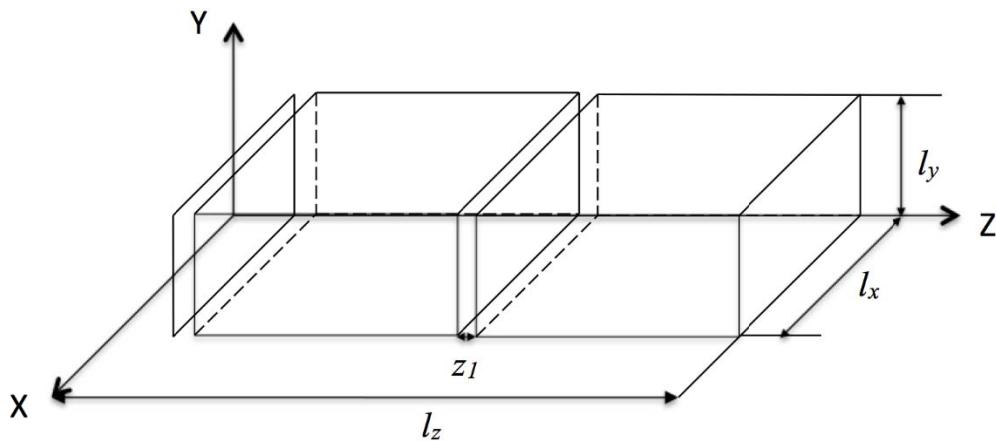


Figure 1 – Three-electrode cathode lens

Numerical calculations of the aberration coefficients were performed according to the program for electron cathode lenses with two symmetry planes, provided that the crossover was formed (Figure 2).

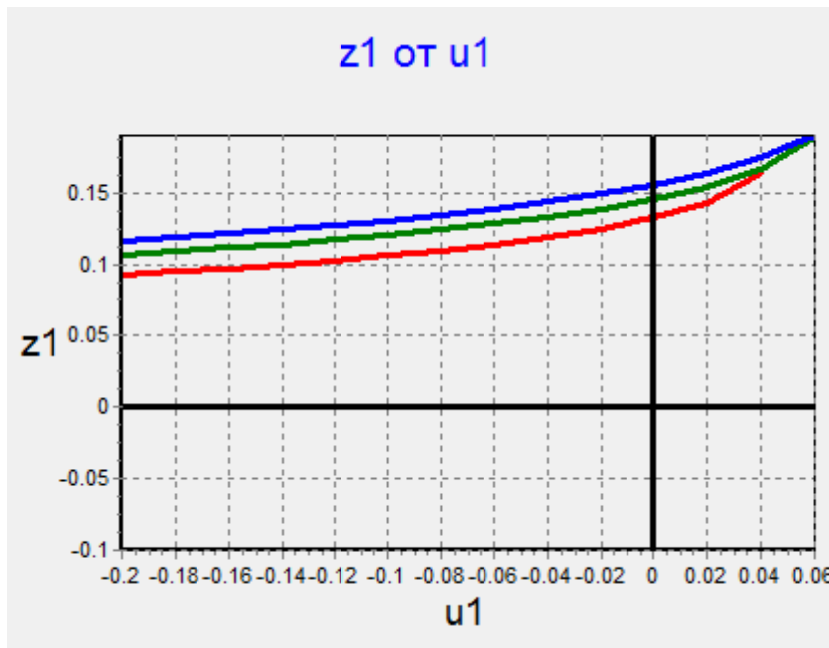


Figure 2 – Graph of conditions for the formation of a crossover of a three-electrode cathode lens

The aberration coefficients are calculated from complex formulas. For example, the aberration coefficient  $D_{x31}$  is calculated in the following way

$$D_{x31} = -\frac{1}{\Phi'_k} \cdot h_x(z_c) \cdot I_{x2} \quad (1)$$

where

$$I_{x2} = \int_{z_k}^{z_{on}} \frac{w_x}{\sqrt{\Phi}} \cdot (w_x^2 \cdot Q_8 + 2 \cdot w_x'' \cdot Q_1) dz_{on} \quad (2)$$

$$h_x = q_x \cdot \sqrt{\Phi} \quad (3)$$

where

$$Q_1 = -\Phi \cdot w_x'^2 + \varphi_{20} \cdot w_x^2 \quad (4)$$

$$Q_8 = \varphi'_{20} \cdot w_x' - 4 \cdot \varphi_{04} \cdot w_x \quad (5)$$

$$2 \cdot \Phi \cdot w_x'' + \Phi' \cdot w_x' - 2 \cdot \varphi_{20} \cdot w_x = 0 \quad (6)$$

$$2 \cdot \Phi \cdot q_x'' + 3 \cdot \Phi' \cdot q_x' + \left( \frac{3}{2} \cdot \Phi'' - 2 \cdot f_{k\theta} \right) \cdot q_x = 0 \quad (7)$$

The drift-transit time and other motion parameters of charged particles are counted from the moment of their emission from the cathode surface, on which the condition  $\varphi_k = \varphi(x_k, y_k, z_k) = 0$  is satisfied. Therefore, when solving (2), an uncertainty is faced, which is eliminated by the following formula

$$\int_{z_k}^{z_{on}} \frac{\sigma}{\sqrt{\Phi}} dz_{on} = 2 \cdot \frac{\sigma(z_u)}{\Phi'_u} \cdot \sqrt{\Phi(z_u)} - 2 \cdot \int_{z_k}^{z_u} \frac{\sqrt{\Phi}}{\Phi'} \cdot \left( \sigma' - \frac{\sigma \cdot \Phi''}{\Phi'} \right) dz_{on} + \int_{z_u}^{z_{on}} \frac{\sigma(z)}{\sqrt{\Phi}} dz_{on} \quad (8)$$

Where  $z_k$  - coordinate of the cathode,  $z_u$  - coordinate of a point a few steps from the cathode.

When calculating the aberration coefficient in order to solve the integral (2), the Simpson formula was used, the fourth-order Runge-Kutta numerical method was used for solving the second-order differential equation (6), (7). The calculation of electrostatic field was performed in the article [1].

Aberration coefficients  $D_{xnj}$  and  $D_{ynj}$  ( $n=2,3; j=1, 2, \dots, 12$ ) along the axis  $x$  and  $y$  are determined by similar formulas.

When performing the calculations the values for  $u_2 = 1$ ,  $l_y = 0.1$ ,  $l_z = 1$  and corresponding values for  $u_1$  and  $z_1$  (Figure 2) were taken with the condition of crossover formation. The size of the lens is regulated by distance of electrodes  $l_x$  from the plane  $yz$ . The results of calculations of a set of aberration coefficients are presented in graphs (Figure 3 - Figure 8). In the figures, the red line corresponds to the value  $l_x = 0.06$ , green -  $l_x = 0.08$ , blue -  $l_x = 0.1$ . The graphs show the dependence of the aberration coefficients on the potential of the first electrode  $u_1$  for three different values of  $l_x$ .

A number of aberration coefficients were obtained, characterized by zero or negative values ( $D_{x31} - D_{x310}$ ,  $D_{y31} - D_{y310}$  and  $D_{y312}$ ). The aberration coefficient becomes positive for  $D_{x311}$ ,  $D_{x312}$  and  $D_{y311}$ , but its value remains small when  $l_x = l_y = 0.1$ , and negative for  $D_{x312}$  as well as for  $D_{y312}$ .

Particularly interesting fact for  $D_{x311}$  and  $D_{y311}$  is that when the potential of the first electrode increases, consequently the distance between the electrodes  $z_1$ , the value of the aberration coefficient decreases, which is characterized by a positive aberration coefficient for all three different values of  $l_x$ .

The analysis of the graphs shows that the considered three-electrode cathode lens for the certain values of applied potentials and electrode sizes makes it possible to significantly reduce the aberration values.

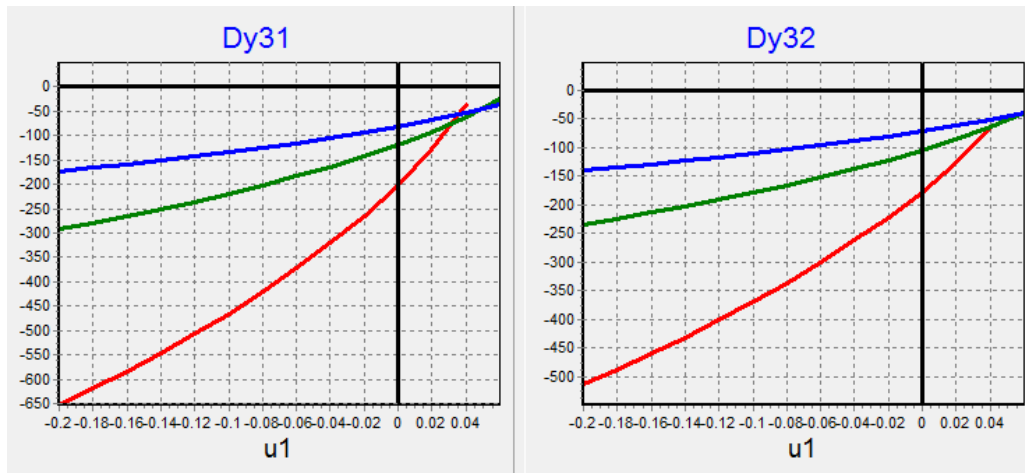


Figure 3 – Graphs of the aberration coefficients  $D_{y31}, D_{y32}$

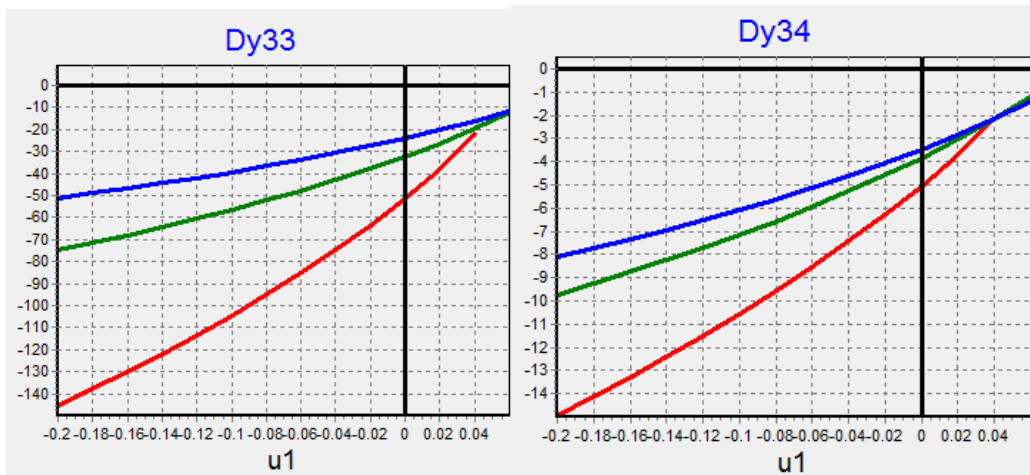


Figure 4 – Graphs of the aberration coefficients  $D_{y33}, D_{y34}$

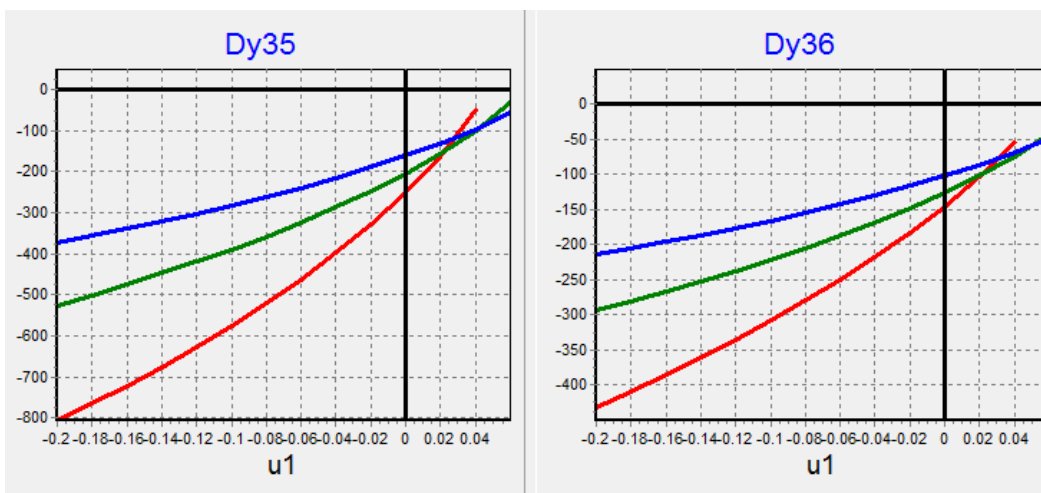


Figure 5 – Graphs of the aberration coefficients  $D_{y35}, D_{y36}$

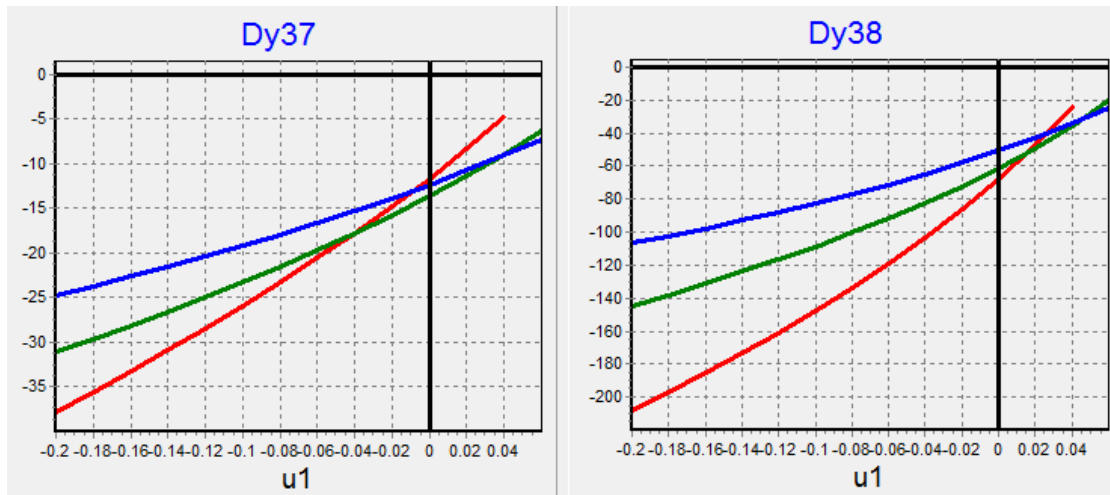


Figure 6 – Graphs of the aberration coefficients  $D_{y37}, D_{y38}$

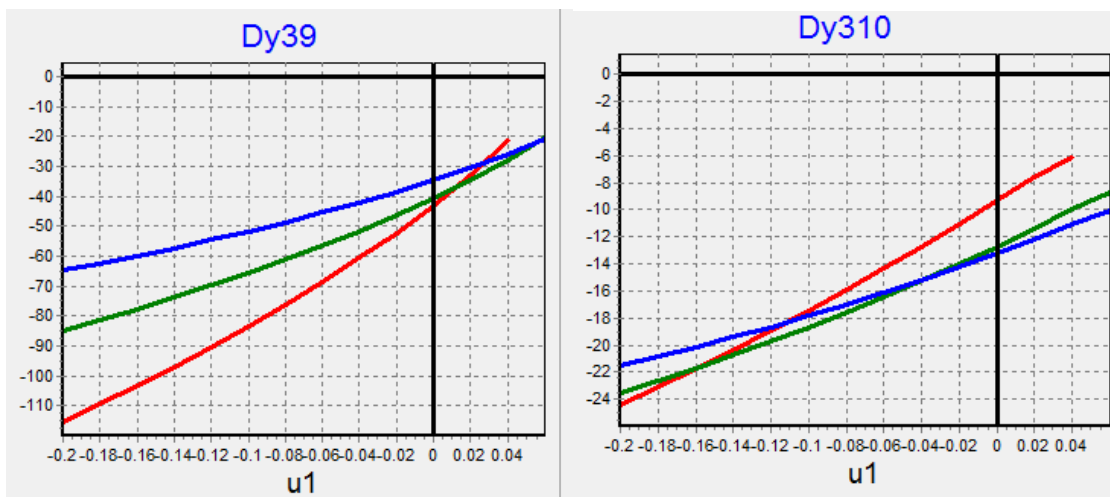


Figure 7 – Graphs of the aberration coefficients  $D_{y39}, D_{y310}$

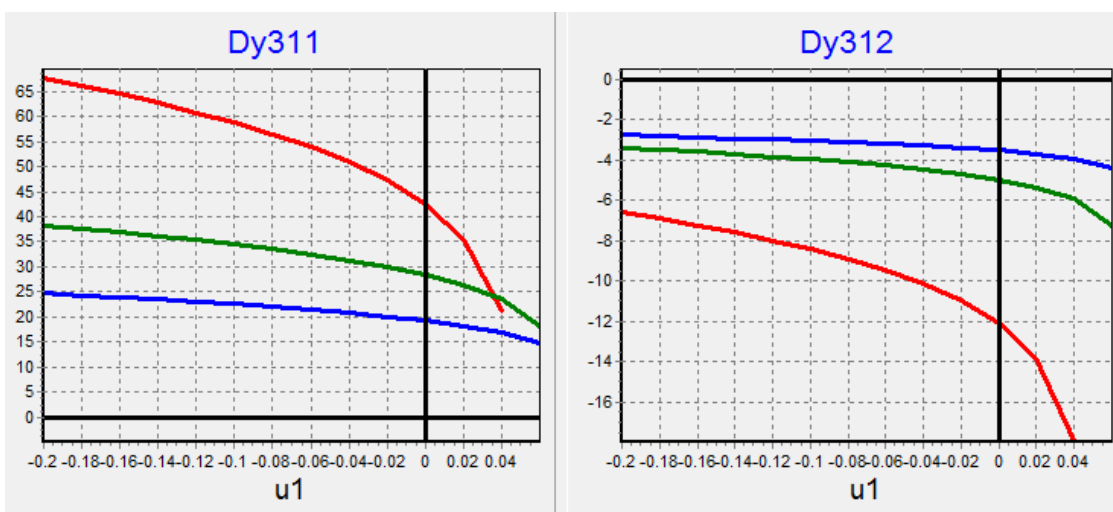


Figure 8 – Graphs of the aberration coefficients  $D_{y311}, D_{y312}$



Properties of a cathode lens with a cylindrical shape of electrodes were investigated in [2]. The results shown in [2] indicate that an increase in the number of electrodes can give some improvement in certain types of aberrations. At the same time, a comparison of these results with similar doubly symmetric elements shows that the values for the aberrations of doubly symmetric lenses are often smaller than the values for similar aberrations in axisymmetric lenses. Thus, in a number of cases the use of focusing elements with two symmetry planes gives better conditions for the formation of electron and ion fluxes with the necessary beam focusing parameters.

#### REFERENCES

- [1] Ibraev AT, Sagyndyk A. (2015) The solution the Dirichlet problem for electrostatic lens with two symmetry planes [ResheniezadachiDirihledljajelektrostaticheskikhlinz s dvumjaploskostjami simmetrii]II Proceedings of the International scientific-practical conference “Information and telecommunication technologies: education, science and practice”, Almaty, Kazakhstan. P. 155. (in Russian)
- [2] Ibraev AT, Ibraev AA, Kuttybayeva AE., Sagyndyk A, Junussova D. (2015) Numerical study of focusing parameters of a five-electrode cathode lens with the rotational symmetry of the field. 2015 The 5th International Workshop on Computer Science and Engineering (WCSE 2015), Moscow, Russia. P.424.
- [3] HoksP., KasperE. (1993) Basics of electronic optics. Book 1. M.:Mir [Osnovyjelektronnooptiki. T.1. M.: Mir]. ISBN 5-03-002070-5. (in Russian)
- [4] Kel'manVM., JavorTJa. (1961) Journal of Technical Physics [Zhurnaltehnicheskofiziki] 31(12): 1439–1442. (in Russian)
- [5] FishkovaTJa. (2013) Letters to the journal of technical physics [Pis'mavzhurnaltehnicheskofiziki] 39(16): 1-5. (in Russian)
- [6] Baranova. LA., JavorTJa. (1997) Journal of Technical Physics [Zhurnaltehnicheskofiziki] 67(8): 92-96. (in Russian)
- [7] Fitzgerald JPS., Word RC., Könenkamp R. (2012) Aberrations in asymmetrical electron lenses, Ultramicroscopy, 119: 40-44. DOI: 10.1016/j.ultramic.2011/11/014
- [8] Schönhense G and Spiecker H. (2002) Correction of chromatic and spherical aberration in electron microscopy utilizing the time structure of pulsed excitation sources, J. Vac. Sci. Technol. B, 20(6): 2526–2534. DOI: 10.1116/1.1523373
- [9] Yongfeng K., Jingyi Z., Tiantong T. (2013) Calculations of time-of-flight aberrations in practical electrostatic electron lenses using the differential algebraic method, Nucl. Instrum. and Meth. Phys. Res., Sec. A., 697: 13-16. DOI: 10.1016/j.nima.2012.09.013
- [10] Fazekas Á., Daimon H., Matsuda H. and Tóth L. (2016) Filtering chromatic aberration for wide acceptance angle electrostatic lenses II – Experimental evaluation and software-based imaging energy analyzer, IEEE Trans. Image Process., 25(3): 1441–1449. DOI: 10.1109/TIP.2016.2524213
- [11] Matsuda H., Daimon H., Kato M., and Kudo M. (2005) Approach for simultaneous measurement of two-dimensional angular distribution of charged particles: Spherical aberration correction using an ellipsoidal mesh, Phys. Rev. E, 71(6): 066503-1–066503-8. DOI: 10.1103/PhysRevE.71.066503
- [12] Matsuda H. and Daimon H. (2006) Approach for simultaneous measurement of two-dimensional angular distribution of charged particles. II. Deceleration and focusing of wide-angle beams using a curved mesh lens, Phys. Rev. E, 74(3): 036501-1–036501-9. DOI: 10.1103/PhysRevE.74.036501
- [13] Matsuda H., Daimon H., Tóth L., and Matsui M. (2007) Approach for simultaneous measurement of two-dimensional angular distribution of charged particles. III. Fine focusing of wide-angle beams in multiple lens systems, Phys.Rev.E, 75(4): 046402-1–046402-5. DOI: 10.1103/PhysRevE.75.046402
- [14] Daimon H., Matsuda H., Tóth L., and Matsui F. (2007) Stereo-PEEM for three-dimensional atomic and electronic structures of microscopic materials, Surf. Sci., 601(20): 4748–4753. DOI: 10.1016/j.susc.2007.05.059
- [15] Tóth L., Matsuda H., Shimizu T., Matsui F., and Daimon H. (2008) New simple photoemission electron microscope with an energy filter, J. Vac. Soc. Jpn., 51(3): 135–137. DOI: 10.3131/jvsj2.51.135
- [16] Tóth L., Matsuda H., and Daimon H. (2009) Simple method for making deeply curved mesh, J. Electron Spectrosc. Rel. Phenomena, 171: 64–67. DOI: 10.1016/j.elspec.2009.02.013
- [17] Tóth L., Goto K., Matsuda H., Matsui F., and Daimon H. (2011) New  $1\pi sr$  acceptance angle display-type ellipsoidal mesh analyzer for electron energy and two-dimensional angular distribution as well as imaging analysis, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A, Accel., Spectrometers, Detectors Assoc. Equip., 648: S58–S59. DOI: 10.1016/j.nima.2010.12.192
- [18] Tóth L., Matsuda H., Matsui F., Goto K., and Daimon H. (2012) Details of  $1\pi sr$  wide acceptance angle electrostatic lens for electron energy and two-dimensional angular distribution analysis combined with real space imaging, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A, Accel., Spectrometers, Detectors Assoc. Equip., 661(1): 98–105. DOI: 10.1016/j.nima.2011.09.018
- [19] Matsuda H. et al. (2014) Development of display-type ellipsoidal mesh analyzer: Computational evaluation and experimental validation, J. Electron Spectrosc. Rel. Phenomena, 195: 382–398. DOI: 10.1016/j.elspec.2014.05.001
- [20] Matsuda H., Tóth L., Matsui F., and Daimon H. (2014) Evaluation of disturbing effect of mesh holes in wide-acceptance-angle electrostatic mesh lenses, J. Electron Spectrosc. Rel. Phenomena, 195: 78–84. DOI: 10.1016/j.elspec.2014.05.013
- [21] Fazekas Á., Daimon H., Matsuda H. and Tóth L. (2016) Filtering chromatic aberration for wide acceptance angle electrostatic lenses II – Experimental Evaluation and Software-Based Imaging Energy Analyzer, IEEE Trans. Image Process., 25(3): 1441-1449 DOI: 10.1109/TIP.2016.2524213

**А. Т. Ибраев, Ә. Б. Сағындық**

Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

**ҚОРАПТЫ КАТОД ЛИНЗАСЫНЫҢ АБЕРРАЦИЯЛЫҚ КОЭФИЦИЕНТТЕРІНЕ  
ЕСЕПТІК ЗЕРТТЕУ**

**Аннотация.** Көрсетілген жұмыста үшэлектродты катод линзасының электронды-оптикалық сипаттама-рын анықтайтын аберрациялық зерттеулер жүргізілген. Жұмыста зарядталған бөлшектерді фокустаудың жоғарғы сапасын қамтамасыз ететін екі симметрия жазықтығына ие жаңа катодты электронды линзаларды құрастырудың теориялық және практикалық сұрақтары қарастырылған. Бұл өз кезегінде технологиялық құрылғылардың техникалық сипаттамаларын жақсартуға мүмкіндік береді. Атап өтсек, зерттеліп отырған элементтер электронды микроскоптарда, масс-спектрометриялық құрылғыларда және де нано мен микро электронды технологиялардың электронды-литографиялық және ионды-литографиялық құрылғыларында қолданылады.

**Түйін сөздер:** катодты линза, электрон, ион, фокус, аберрация, құрылғы.

**А. Т. Ибраев, А. Б. Сағындық**

Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева,  
Алматы, Казахстан

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АБЕРРАЦИОННЫХ КОЭФИЦИЕНТОВ  
КОРОБЧАТОЙ КАТОДНОЙ ЛИНЗЫ**

**Аннотация.** В настоящей работе проведены численные исследования абберрационных коэффициентов, определяющие электронно-оптические характеристики трехэлектродной катодной линзы. В работе рассматриваются теоретические и практические вопросы проектирования новых катодных электронных линз с двумя плоскостями симметрии, которые обеспечивают более высокое качество фокусировки заряженных частиц, что в свою очередь приводит к улучшению технических характеристик аналитических приборов и технологических установок. Отметим, что исследуемые элементы используются в электронных микроскопах, масс-спектрометрических приборах, а также в электронно-литографических и ионно-литографических установках нано- и микроэлектронных технологий. В результате проведенных расчетов был проведен сравнительный анализ коэффициентов абберраций. Рассмотренная в работе трехэлектродная катодная линза при определенных параметрах линзы позволяет осуществить фокусировку заряженных частиц с наименьшими значениями абберраций.

**Ключевые слова:** катодная линза, электрон, ион, фокусировка, абберрация, прибор.

**NEWS**

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES**

ISSN 2224-5278

Volume 4, Number 424 (2017), 115 – 122

UDC 669.213:541

**Sh. Ch. Altynbek<sup>1,2</sup>, L. S. Bolotova<sup>2</sup>, A. O. Baikonurova<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Kazakh National Research Technical University after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan,<sup>2</sup>The Branch of the RSE «NC CPMS RK» State scientific-industrial association  
of industrial ecology "Kazmekhanobr", Almaty, Kazakhstan.**E-mail:** Altynbek.shinar@gmail.com, L\_bolotova@yahoo.com, a.baikonurova@yandex.kz**INVESTIGATION OF SORPTION CHARACTERISTICS  
OF ANIONEX EXCHANGE RESINS RELATED TO GOLD  
AT ITS EXTRACTION FROM POLYCOMPONENT SOLUTIONS**

**Abstract.** This article presents the results of studies of the sorption characteristics of various grades of resins used in the processing of gold-containing ores. The behavior of the main accompanying impurities in the process of ion exchange (Co and Cu) in the process of gold extraction by ion exchange resins of different basicity was studied: AM-2B (mixed basicity), AB-17-8 and Purolite A-500 (strongly basic resins).

**Key words:** anion exchange resin, sorption characteristics, capacity, resin selectivity for gold, accompanying impurities.

Currently, low-grade gold-containing raw materials are increasingly involved in processing, which, as a rule, undergoes heap leaching with alkaline cyanide solutions [1-3]. The method allows to provide low water consumption due to the use of circulating solutions, it is not energy-intensive, does not require the use of complex equipment.

As a result of the interaction of aqueous solutions of sodium cyanide with gold-containing ore, dilute solutions of gold (I) and silver (I) cyanocomplexes are formed. However, along with gold, the accompanying impurities - metals such as copper, zinc, nickel and cobalt - dissolve. For the sorption extraction of cyanide gold complexes from the obtained solutions, ion exchange resins and activated carbons are used [4-6]. In the process of sorption extraction of gold ions from the obtained solutions, the sorbents, to varying degrees, are exposed to metal impurities, while their capacitive characteristics are reduced. The main advantage of activated carbons is their high selectivity to gold. The main disadvantage of activated carbons is the relatively low absorption rate of noble metal compounds [7, 8]. Ion-exchange resins are inert with respect to the salt composition of simple salts, as well as to oil products that have fallen into the productive solution. Synthetic ion exchange resins in comparison with activated carbon have higher sorption capacity, mechanical strength, and can be reused [9]. The resin removes a part of the metals of the impurities, herewith the circulating solutions are conditioned by the impurity metals and the gold dissolves better. Studies aimed at investigation of the effect of accompanying metals-impurities on the sorption of gold by anion-exchange resins are important and timely. When developing an effective sorption method for processing productive gold-containing solutions, it is important not only to choose a selective anionite having high technological properties, but also to study the effect of the solution composition on sorption parameters.

When leaching gold from ore raw materials among soluble accompanying impurities (copper, zinc, nickel, cobalt, iron), copper has a significant effect on the sorption of gold [10, 11]. Copper, contained in leaching solutions (productive solutions), reduces the sorption of dissolved gold and the sorption activity of sorbents, and copper contained in circulating solutions reduces the solubility of gold due to the competing effect of copper on the leaching process. Copper in solutions is mainly presented in the form of

cyanide complex compounds -  $\text{Cu}(\text{CN})_2^-$ ,  $\text{Cu}(\text{CN})_3^{2-}$  и  $\text{Cu}(\text{CN})_4^{3-}$  [12]. In this connection, one mass fraction of copper transits into an inactive state about 3-4 mass fractions of sodium cyanide added to the solutions. The single-charged  $\text{Cu}(\text{CN})_2^-$  anion in the composition of  $\text{KCu}(\text{CN})_2$  is a coordination polymer containing  $\text{Cu}(\text{CN})_3$  "units" that joining together form helicoidal anion chains, while in the composition  $\text{Na}_2[\text{Cu}(\text{CN})_3] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , a discrete flat triangular anion  $\text{Cu}(\text{CN})_3^{2-}$  is detected.  $\text{Cu}^+$  ions can form mixed complexes based on cyanide ions and thiourea, thiocyanate, ammonia, chloride and iodide ions, for example  $[\text{Cu}(\text{CN})_3\text{SCN}]^{3-}$  and  $[\text{Cu}(\text{CN})_4\text{SCN}]^{4-}$  [13,14]. In the presence of free cyanide in solution, these mixed complex ions decompose rapidly. When the CN:Cu ratio is less than 3, copper cyanide is easily oxidized by air, which determines the lower stability of  $\text{Cu}(\text{CN})_2^-$ .

In working solutions, the content of sodium cyanide is at the level of 0.7-1.0 g/l, from which up to 0.25 g/l is in inactive form as cyanide complexes with copper, which amounts to 25-36% of the total load sodium cyanide in the leaching process.

From literary and patent sources, several methods for extracting copper from cyanide solutions are known [15, 16]:

- treatment of solutions with oxidants in an alkaline medium, as a result of which dissolved copper passes into a precipitate in the form of a hydroxide;
- cementing of copper with metallic zinc to produce metallic copper powder;
- by electrolysis to obtain a powder of metallic copper;
- treatment of the solution with mineral acids (preferably sulfuric acid) to obtain a precipitate of copper cyanide;
- sorption by anion-exchange resins and extractants.

When cyanide solutions are treated with oxidizing agents (chloragents, hydrogen peroxide, ozone), all the cyanide compounds contained in the solution are completely destroyed (degraded) and, therefore, a large consumption of oxidants is required to precipitate copper. The resulting solutions practically do not contain sodium cyanide and they are not able to leach gold without additives of the latter when using solutions in circulation. In this regard, for heap leaching conditions, this method of precipitating dissolved copper is ineffective and cannot be recommended for industrial use.

Methods of carbonization of copper with metallic zinc, copper separation by electrolysis and treatment with mineral acids also do not attract attention for the following reasons: when zinc copper is carbonized, copper precipitates with simultaneous dissolution of zinc, which also as copper suppresses gold dissolution when solutions are used in circulation and reduce sorption extraction ions of gold. It should be noted that the electrolysis of copper from cyanide solutions of this composition passes with a low current yield, which causes high energy costs and loss-making process.

The process of treatment of alkaline cyanide solutions with mineral acids requires a large expenditure on reagents (mineral acids for acidification of alkaline cyanide solutions to pH 1.8-2.0 and sodium hydroxide for subsequent alkalinization of solutions after separation of precipitated copper from them). In addition, as a result of the processing of cyanide solutions with mineral acids, hydrogen cyanide (hydrocyanic acid) is formed which is a highly toxic and volatile gas and, in this connection, expensive equipment is required to avoid the release of prussic acid into the atmosphere. The cyanide precipitate of copper is also a toxic substance and has limited demand, and to extract copper from it in the form of commodity products having increased demand, additional expensive operations and equipment are required, the costs for which are often not paid off by the product being sold.

Scientific and practical interest is the sorption methods of extraction of dissolved copper by anion-exchange resins and extractants based on quaternary ammonium salts (QAS) [16].

Extractants diluted in organic solvents (kerosene, toluene, diesel fuel, etc.) are insoluble in water liquid synthetic sorbents. When the extractants are mixed with cyanide solutions, they together with diluents are emulsified and their entrainment is carried out with the treated solutions. In this connection, conditions for heap leaching of gold require deep purification of circulating solutions from emulsified extractants that otherwise are adsorbed by the surface of the ore and reduce the leaching of gold from the ore material (gold dissolved from the ore is sorbed by the extractant and remains with it on the surface of the ore particles).

The attraction of anion-exchange sorbents is that they are able to concentrate a large number of cyanide complex metal compounds from very dilute solutions with a low degree of sorption of the simple

cyanide ions that make up sodium cyanide, which almost completely remain in solutions and can be reused in circulation for dissolution of gold from ore.

For industrial processing conditions for polycomponent gold-containing solutions obtained by heap leaching, the most acceptable are anion exchange resins - water-insoluble solid synthetic sorbents.

We studied the behavior of the main accompanying impurities (Co and Cu) in the process of gold extraction by ion-exchange resins of different basicity: AM-2B (mixed basicity), AB-17-8 and Purolite A-500 (strongly basic resins).

The studies were carried out using industrial cyanide solutions obtained from heap leaching of gold from ore raw materials, in composition of, mg/l: gold 1.13-1.20; copper 60.8-63.2; cobalt 1.73-1.78.

Sorption was carried out dynamically by passing solutions through the resin bed in the column from bottom to top (Figure 1). The ratio of the height of the resin bed in the columns to the diameter of the column was (4-6): 1. The rate of transmission of the solutions through the resin bed was maintained at 4-5 specific volumes per hour.

The frequency of sampling was carried out 2 times a day: after 8 and 24 hours of sorption. The solutions were analyzed for the content of gold, copper and cobalt. After reaching the content of copper in the solution after sorption at the level of the initial content, the sorption was stopped.

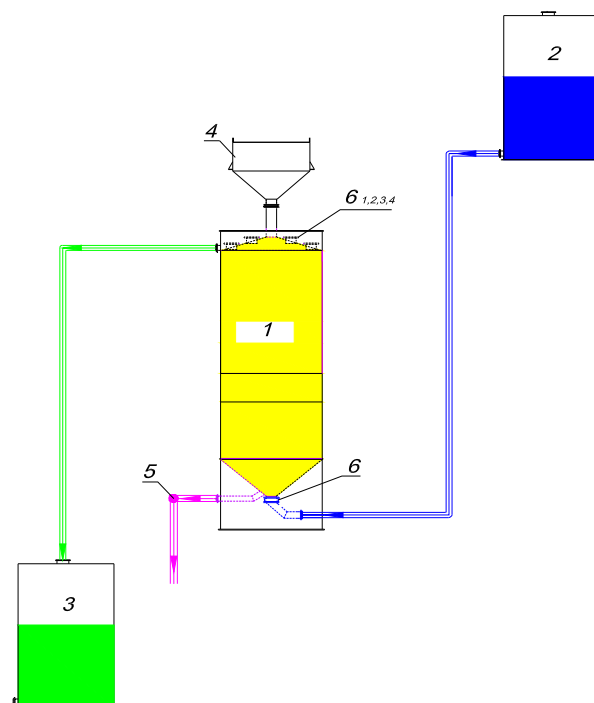


Figure 1 – Scheme of the sorption installation: 1 – sorption column; 2 – consumption tank of a productive solution; 3 – mother solution tank; 4 – loading of fresh ion exchanger; 5 – unloading of saturated ion exchanger; 6 – drainage mesh

The results of the studies are given in Table.

From the obtained data, it can be seen that the AB-17-8 resin has the largest capacity for the studied metals, mg/g: 3.14 of gold; 89.31 of copper; 4.69 of cobalt.

Saturation with gold of AM-2B resin is 2.98 mg/g, of Purolite A-500 resin is 2.86 mg/g. Purolite A-500 resin has quite high rates for sorption of cobalt (4.64 mg/g) and satisfactory indicators for copper sorption (68.48 mg/g). The lowest capacity for copper and cobalt is AM-2B resin. The resin capacity for copper was 24.77 mg/g, for cobalt - 3.03 mg/g.

Gold is most efficiently sorbed by AB-17-8 ion exchange resin. The content of gold in solutions after sorption does not exceed 0.05 mg/l up to 500 specific volumes of polycomponent productive solutions passed through the resin. AM-2B resin for sorption of gold is 15-20% inferior to AB-17-8 resin. Decrease (less than 0.05 mg/l) of gold content is observed before passing through the column of 150 specific

Results of gold, copper and cobalt sorption experiments  
with ion-exchange resins AM-2B, AB-17-8 and Purolite A-500

Total amount of solutions, S.V.	Content in solutions, mg/l						Content in resin, mg/g		
	productive solution			mother solution			Au	Cu	Co
	Au	Cu	Co	Au	Cu	Co			
AM- 2B									
45	1,14	61,0	1,75	0,06	0,05	0,10	0,15	8,23	0,22
146	1,14	61,0	1,75	0,04	3,65	0,25	0,48	25,98	0,69
252	1,14	61,0	1,75	0,07	53,50	0,70	0,82	31,33	1,04
322	1,19	63,2	1,78	0,17	64,50	0,42	1,04	31,19	1,31
425	1,19	63,2	1,78	0,11	66,00	0,74	1,37	29,83	1,61
495	1,19	63,2	1,78	0,06	66,50	0,78	1,60	29,02	1,85
605	1,13	60,8	1,73	0,17	64,25	0,89	1,91	27,59	2,15
725	1,13	60,8	1,73	0,18	63,75	0,71	2,25	26,34	2,44
820	1,20	61,0	1,75	0,18	62,00	0,99	2,52	25,79	2,68
987	1,20	61,0	1,75	0,28	63,50	1,02	2,98	24,77	3,03
AB-17-8									
55	1,14	61,0	1,75	0,01	0,01	0,01	0,19	10,06	0,27
150	1,14	61,0	1,75	0,01	0,01	0,13	0,51	27,44	0,73
254	1,14	61,0	1,75	0,02	0,07	0,10	0,86	44,75	1,25
318	1,19	63,2	1,78	0,04	0,19	0,11	1,08	56,86	1,57
410	1,19	63,2	1,78	0,05	3,41	0,11	1,40	73,77	2,03
498	1,19	63,2	1,78	0,05	15,75	0,24	1,70	87,51	2,46
591	1,13	60,8	1,73	0,15	58,00	0,25	1,98	91,50	2,88
694	1,13	60,8	1,73	0,15	60,00	0,21	2,28	91,20	3,34
791	1,20	61,0	1,75	0,15	63,25	0,15	2,57	90,70	3,79
973	1,20	61,0	1,75	0,22	63,00	0,15	3,14	89,31	4,69
Purolite A-500									
57	1,14	61,0	1,75	0,03	0,09	0,09	0,19	10,42	0,28
147	1,14	61,0	1,75	0,01	0,05	0,11	0,49	26,87	0,73
263	1,14	61,0	1,75	0,01	0,18	0,10	0,89	48,05	1,31
334	1,19	63,2	1,78	0,02	2,86	0,11	1,14	61,13	1,67
433	1,19	63,2	1,78	0,12	48,75	0,19	1,47	70,42	2,15
528	1,19	63,2	1,78	0,19	64,25	0,25	1,76	73,33	2,60
617	1,13	60,8	1,73	0,21	65,50	0,19	2,01	72,29	3,00
729	1,13	60,8	1,73	0,24	64,00	0,20	2,30	71,21	3,51
835	1,20	61,0	1,75	0,33	63,00	0,22	2,56	70,16	3,99
979	1,20	61,0	1,75	0,57	63,25	0,24	2,86	68,48	4,64

volumes of the solution, and at 987 specific volumes - increases to 0.28 mg/l. Purolite A-500 resin sorbs gold quite efficiently (with a transmission of ~ 400 S.V. of solution), the content of gold in solutions after sorption does not exceed 0.03 mg/l. At large volumes of productive solutions passed through the resin, the gold concentration in the mother solution increases rapidly and at 979 specific volumes of the passed gold-containing solution is 0.57 mg/l.

With regard to copper extraction, the highest metal capacity is observed when using the AB-17-8 resin - 89.3 mg/g. The sorption of copper ions by AM-2B resin is less effective: the metal capacity does not exceed 24.8 mg/g. Purolite A-500 resin has intermediate results between the AM-2B and AB-17-8 resins. After the breakthrough (the concentration of copper in the solution after sorption reaches 3-4 mg/l), all resins sharply reduce the sorption properties with respect to copper. The concentration of copper in the mother solution increases noticeably and at the end of the sorption exceeds the initial value.

There is a displacement (desorption) of copper from the resin phase, but it occurs with different specific volumes of productive solutions passed through the resin. Thus, copper desorption from AM-2B resin is observed after passing 288 specific volumes, with Purolite A-500 resin - after 528 specific volumes, and with AB-17-8 resin - after 658 specific volumes. Thus, according to the sorption characteristics with respect to copper, the most effective resin is AB-17-8.

With respect to cobalt, the AB-17-8 and Purolite A-500 resins have approximately the same sorption characteristics. They significantly exceed the sorption characteristics of the AM-2B resin. After sorption with AB-17-8 and Purolite A-500, the maximum cobalt content in mother solution is 0.26 mg/l, and when using AM-2B resin in the filtrate, a cobalt concentration of 1.08 mg/l is achieved.

It should be noted that the capacity of the studied resins for gold is fairly close and amounts to 2.86-3.14 mg/g. For copper, AB-17-8 resin has the largest capacity (91.5 mg/g), and AM-2B has the smallest (31.33 mg/g) (Figure 2). The intermediate value for the capacity of copper is Purolite A-500 resin (73.45 mg/g). In all types of resins, after full saturation with copper, a certain decrease in the metal capacity occurs, i.e. desorption of copper from the resin is observed.

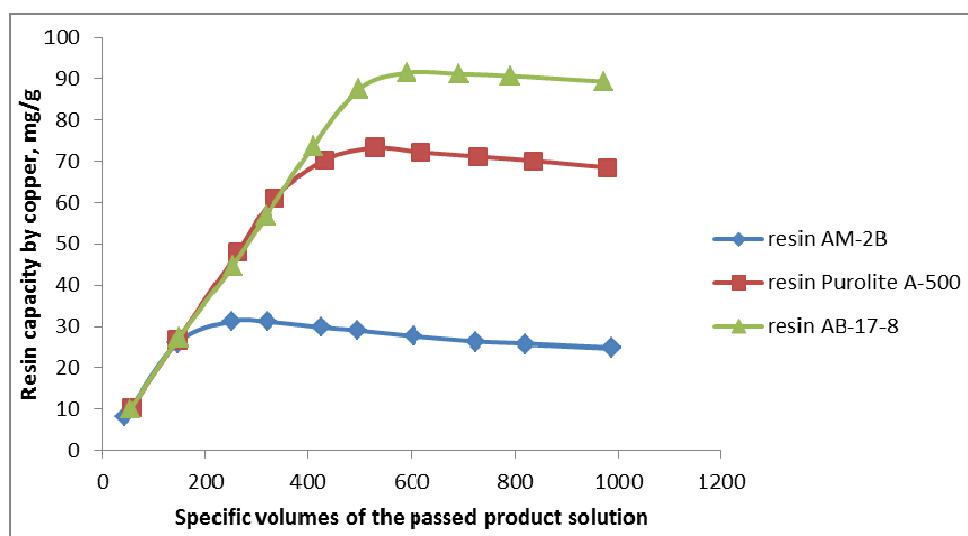


Figure 2 – Capacity of ion-exchange resins in copper, depending on the specific volumes of passed gold-containing productive solutions

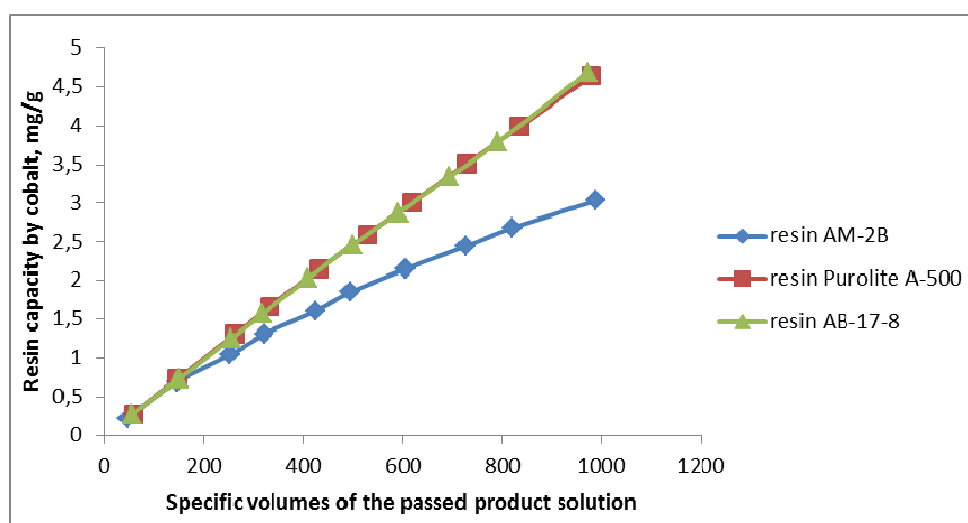


Figure 3 – Capacity of cobalt-based anion exchangers, depending on specific volumes of omitted gold-containing productive solutions

The capacity of the anion exchangers AB-17-8 and Purolite A-500 in cobalt (Figure 3) is approximately the same and is 4.64-4.69 mg/g. The capacity of the AM-2B resin for cobalt is lower than other resins and is 3.03 mg/g.

The obtained data on the sorption of gold, copper and cobalt from polycomponent cyanide solutions confirm the increased selectivity to gold of the mixed basic AM-2B resin. Strongly basic resins AB-17-8 and Purolite A-500 are collective sorbents, they sufficiently well sorb all the anionic complexes of metals.

Figures 4-6 show the results of the extraction of metal ions from productive solutions by AM-2B, Purolite A-500 and AB-17-8 ion-exchange resins, depending on the specific volumes of the passed productive solution.

From the results of the studies shown in Figures 4-6, it follows that the highest sorption index with respect to gold, copper and cobalt is AB-17-8 resin. The AM-2B resin is quite effective with respect to gold ion, and has low sorption characteristics when copper and cobalt are extracted, i.e. This resin shows selectivity with respect to gold. Purolite A-500 resin has slightly reduced gold extracting performance, satisfactory copper extracting performance and fairly high cobalt extracting rates comparable to those of metal ions on the AB-17-8 resin.

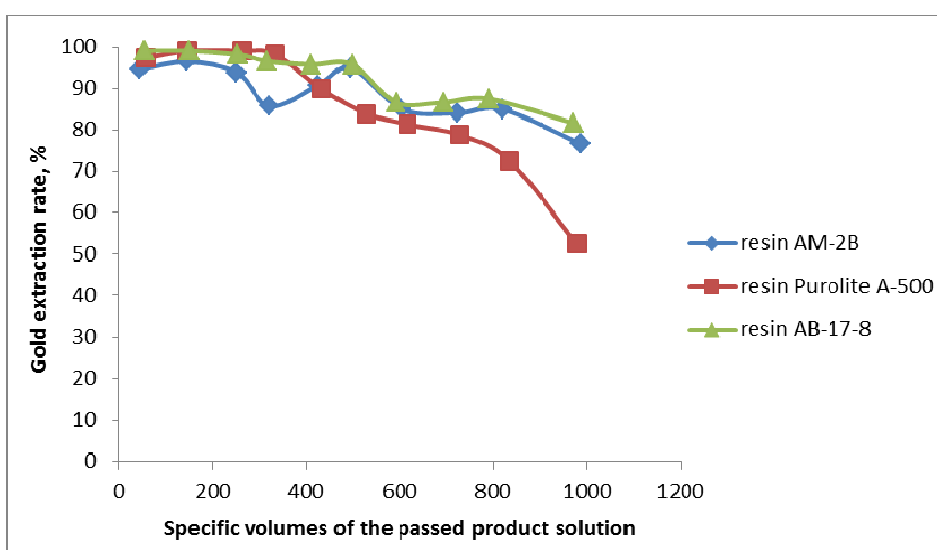


Figure 4 – Dependence of the degree of gold extraction from productive solutions by ion-exchange resins depending on the specific volumes of the passed solutions

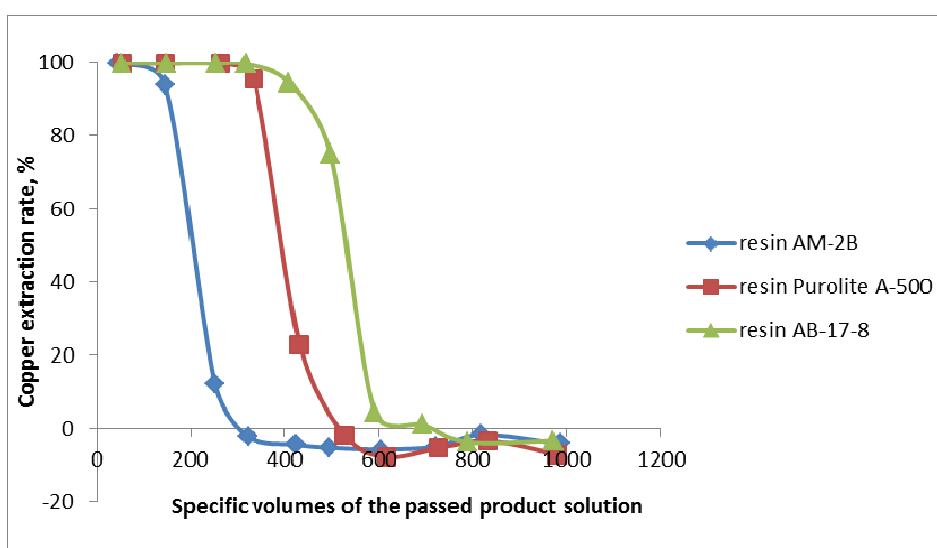


Figure 5 – Dependence of the degree of copper extraction from the productive solutions by ion exchange resins, depending on the specific volumes of the passed solutions



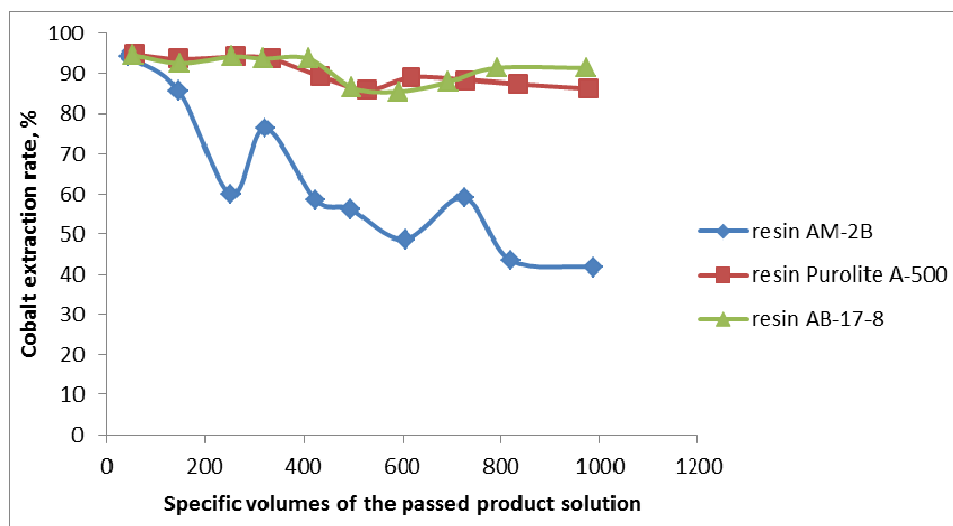


Figure 6 – Dependence of the degree of cobalt extraction from the productive solutions by ion-exchange resins, depending on the passed solutions

According to the results of the studies, it was not possible to select metals from the polycomponent product solution (copper and cobalt) by tested ion-exchange resins.

Thus, for the implementation of the method of sorption conditioning of solutions for metals-impurities, it is possible, as one of the options, the two-stage sorption method, the preliminary sorption of gold by the AM-2B ion-exchange resin, which has a lower capacity for copper and cobalt, followed by the sorption of impurity metals by the AB-17-8 anion exchange resin, which has a high sorption ability with respect to copper and cobalt. Along with the AM-2B resin, two-stage sorption of gold from the productive solution can use activated carbons, usually having the highest selectivity for gold during sorption from solutions with a high content of metal impurities.

#### REFERENCES

- [1] Barchenkov V.V. *Tehnologiya gidrometallurgicheskoy pererabotki zolotosoderzhaschih flotokontsentratsionnykh razvedok s primeneniem aktivnykh ugley*. Chita, Poisk. 2004. – P. 242. ISBN: 5-93-119-133-X (In Russian)
- [2] Strizhko L.S. *Metallurgiya zoloto i serebra*. – Moscow. MISIS. 2011. P. 336. ISBN: 5-87623-083-9 (In Russian)
- [3] Meretukov M.A. *Zoloto: himiya, mineralogiya, metallurgiya*. Moscow. Ruda i metallyi. 2008. P. 528. ISBN: 978-5-98191-043-2 (In Russian)
- [4] N.I. Utkin. *Proizvodstvo tsvetnykh metallov*. Moscow. Internet Inzhiniring. 2000. C. 442. ISBN: 5-89594-030-7 (In Russian)
- [5] Altynbek Sh.Ch., Bolotova L.S. *Izuchenie sostava produktivnykh zolotosoderzhaschih rastvorov kuchnogo vyichelachivaniya s tsel'yu vyibora naibolee effektivnogo sorbenta dlya izvlecheniya zolota*. Nauch.-tehn. zhurn. Promyshlennost' Kazahstana. Almaty. 2013. 5(80), 10. – P. 91-95 (In Russian)
- [6] Luganov V.A., Baykonurova A.O., Komkov N.M., Sazhin E.N. *Teoreticheskie osnovy gidrometallurgicheskikh protsessov, ekstraktsionnyye i ionoobmennyye protsessy, uchebnoe posobie*, Ust-Kamenogorsk, VKGTU, 2004. P. 104. ISBN: 9965-711-00-3 (In Russian)
- [7] Sh.Ch. Altynbek, A.O. Baykonurova. *Study of the influence of gold solutions gold sorption of natural and synthetic exchangers [Izuchenie vliyaniya sostava zolotosoderzhaschih rastvorov na sorbtsiyu zolota prirodnyimi i sinteticheskimi ionitami]*. Bulletin of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Vol. 4, Number 308 (2016), P. 17-23. ISSN: 2224-5227 (In Russian)
- [8] Bolotova L.S. *Ionoobmennaya tehnologiya v gidrometallurgii zolota*. *Geologiya i razvedka neдр Kazahstana*, Number 2, 2001. P. 52-56 (In Russian)
- [9] Bolotova L.S. *Tehnologiya CIP/CIL i RIP/RIL v gidrometallurgii zolota*. *Sbornik statey Aktsionernaya kompaniya «Altyinalmas»*, 2003. P. 25-35 (In Russian)
- [10] Sh.Ch. Altynbek, A.O. Baykonurova, B. Mishra. *Vliyanie tsianidnykh kompleksov metallov na ravnovesnoe raspredelenie zolota v sisteme anionit-rastvor*. *Materials of the international scientific-practical conference «Prospects for the development of modern science»*, Jerusalem, Israel, 2016. P. 124-130 (In Russian)
- [11] Altynbek Sh.Ch., Bolotova L.S. *Issledovanie obmena v sisteme anionit – ditsianoaurat*. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii Abishevskie chteniya-2016 «Innovatsii v kompleksnoy pererabotke mineralnogo syr'ya»*. Kazahstan, Almaty, 2016. P. 200-204 (In Russian)
- [12] Turyisbekova G.S., Meretukov M.A., Bektay E.K. *Zoloto, innovatsii v himii i metallurgii*, Almaty. 2015. P. 632. ISBN: 978-601-228-838-4 (In Russian)

[13] Sharpe A. The chemistry of cyano complexes of the transition metals. Academic Press, 1976. P. 302 (In Eng.)

[14] Housecroft C., Sharpe A. Inorganic chemistry. 3ed. Prentice Hall, 2008. P. 1098 (In Eng.)

[15] Altynbek Sh.Ch., Akzharkenov M.D., Bolotova L.S., Romanenko A.G. Izvlechenie medi ionoobmennymi smolami iz sernokislyih rastvorov v prisutstvii zheleza. Materialy IX Mezhdunarodnoy konferentsii «Effektivnoe ispolzovanie resursov i ohrana okruzhayushey sredy – klyuchevyye voprosy razvitiya gorno-metallurgicheskogo kompleksa» i XII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Perspektivnyie tehnologii, oborudovanie i analiticheskie sistemyi dlya materialovedeniya i nanomaterialov». Ust-Kamenogorsk, 2015. Tom 4. – P. 189-194. ISBN: 978-601-208-80254-4-0 (In Russian)

[16] Kreyn. F. Ekstraktsiya v gidrometallurgii medi: razvitiya i sovremennoe sostoyanie. Kompleksnoe ispolzovanie mineralnogo syrya. 2, 2004. P. 36-54 (In Russian)

### Ш. Ч. Алтынбек<sup>1,2</sup>, Л. С. Болотова<sup>1</sup>, Ә. Ә. Байқоңырова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан,  
<sup>2</sup>«ҚР МШКҚӨҰО» РМК Мемлекеттік өнеркәсіптік экология ғылыми-өндірістік бірлестігі филиалы  
«Қазмеханобр», Алматы, Қазақстан

#### АЛТЫНДЫ ПОЛИКОМПОНЕНТТІ ЕРІТІНДІЛЕРДЕН ӨНДІРУ БАРЫСЫНДА АНИОНАЛМАСТЫРҒЫШ ШАЙЫРЛАРДЫҢ АЛТЫНҒА ҚАТЫСТЫ СОРБЦИЯЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН ЗЕРТТЕУ

**Аннотация.** Мақалада алтын құрамды кеннен алтынды өндіру барысында қолданылатын әр түрлі маркалы анионалмастырғыш шайырлардың алтынға қатысты сорбциялық сипаттамаларын зерттеу жұмыстарының нәтижелері көрсетілген. Иондық алмасу кезінде негізгі қоспа металлдардың әсері зерттелген.

**Түйін сөздер:** ионалмастырғыш шайыр, сорбциялық сипаттамалар, сіңіру көлемі, шайырлардың алтын бойынша таңдаушылық қасиеттері, қоспа металлдар.

### Ш. Ч. Алтынбек<sup>1,2</sup>, Л. С. Болотова<sup>1</sup>, А. О. Байқоңунова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева,  
Алматы, Казахстан,

<sup>2</sup>Филиал РГП «НЦ КПМС РК» Государственное научно-производственное объединение  
промышленной экологии «Казмеханобр», Алматы, Казахстан

#### ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АНИОНООБМЕННЫХ СМОЛ, ОТНОСЯЩИХСЯ К ЗОЛОТУ, И ЕГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИЗ ПОЛИКОМПОНЕНТНЫХ РАСТВОРОВ

**Аннотация.** В статье приведены результаты исследований сорбционных характеристик разных марок смол используемые при переработки золотосодержащих руд. Изучено поведение основных сопутствующих примесей в процессе ионного обмена (Со и Сu) в процессе извлечения золота ионообменными смолами различной основности: АМ-2Б (смешанной основности), АВ-17-8 и Purolite А-500 (сильноосновные смолы).

**Ключевые слова:** анионообменная смола, сорбционные характеристики, емкость, селективность смол по золоту, сопутствующие примеси.

#### Information about authors:

Altynbek Shynar Chaibekkizi – PhD student, Kazakh National Research Technical University after K. I. Satpayev, Satpayev str 22a, Almaty, Kazakhstan; Research scientist, laboratory of noble metals, The Branch of the RSE «NC CPMS RK» State scientific-industrial association of industrial ecology "Kazmekhanobr", Jandosov str 67b, Almaty, Kazakhstan, Altynbek.shinar@gmail.com

Baikonurova Aliya Omirkhanovna – Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazakh National Research Technical University after K. I. Satpayev, Satpayev str 22a, Almaty, Kazakhstan, a.baikonurova@yandex.kz

Bolotova Lyudmila Sergeevna – Candidate of Chemical Sciences, Head of the laboratory of noble metals, The Branch of the RSE «NC CPMS RK» State scientific-industrial association of industrial ecology "Kazmekhanobr", Jandosov str 67b, Almaty, Kazakhstan, L\_bolotova@yahoo.com

**NEWS**

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES**

ISSN 2224-5278

Volume 4, Number 424 (2017), 123 – 132

UDC 622.25.89

**M. T. Biletsky, B. T. Ratov, A. R. Bayboz**

Kazakh national research technical university named after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: ratov.bt@gmail.com

**THEORETICAL JUSTIFICATION OF AN AUTOMATIC DEVICE  
FOR DRILLING MUD FUNNEL VISCOSITY MEASUREMENT**

**Abstract.** It is considered an installation for automatic measuring drilling mud funnel viscosity (a patent of the Republic of Kazakhstan), involving a rotating table, carrying a funnel with a nipple at the end. At each rotary movement the funnel passes through four positions: filling up with the measured liquid, measuring its funnel viscosity, washing up and removing the traces of the liquid, evacuation of remaining water out of the funnel. Stopping the table for carrying the measurement through and starting the time counter is affected by means of a located on the table cam, opening a live electrical contact at the moment of the funnel running clean from under the liquid delivering pipe. At completion of draining the liquid's measured volume, a float inside the funnel, while sinking, stops the time counter and restarts the table's rotation. The movement of the table is controlled by time relay and starting relay. The electrical signal of funnel viscosity is converted into digital form and conveyed to a control panel of the drilling operator. Computer program representing a model of the funnel viscosity measurement process is worked out. The funnel viscosity of a liquid is found as a sum of draining times of volumes of virtual cylinders, formed as a result of dividing the liquid's measured volume height into a certain number of equal parts, the virtual cylinder's diameter being taken as equal to the average diameter of the corresponding truncated cone. For each virtual cylinder the related to the height of its position in the funnel hydrostatic pressure is represented as an equation, involving a sum of two pressure drops: the first one, resulting from the flow contraction while moving down the funnel; the second one, required for the flow's passage along the nipple. On the second occasion, the accurate value of the hydraulic resistance factor being unknown, it was determined by method of iteration, providing a stepwise approximation to it. For each virtual cylinder the above mentioned equation made it possible to determine the liquid's flow rate, and by it – the velocity of its passing along the nipple and the velocity and the time of its level dropping in the funnel. The sum of those times represents the liquid's funnel viscosity. The model's adequacy was successfully corroborated by way of calculating the water index (15 s) of the standard flow meter ВБР-2, basing on its geometrical dimensions. The model was used for working out optimum values of the most important structural parameters of the installation for automatic measurement of drilling mud funnel viscosity, including dimensions of the funnel – considerably reduced as compared to the standard funnels, but with preservation or even raising the accuracy of measurements. It also helped to find the minimum possible interval between the successive measurements, basing on establishing the required time of each of the principal operations, performed at one full revolution of the table.

**Keywords:** drilling wells technology, drilling muds' funnel viscosity measuring instruments, automatic measurements, theoretic justification, computational mathematics, programming.

**Introduction.** Employees of the Drilling Technology and Machinery department have worked out a concept of drilling mud [1,2] parameters measurement automatization, basing on use of a rotating table [4]. As applied to the funnel viscosity, the automatic installation [3,5] is presented at the figure 1.

Driven by the synchronous motor 2, the rotating table 1 and the funnel 3 perform one measurement at each revolution. To do that, the rotation is interrupted and a halt made. A second halt is made for washing up the device. Intermittent nature of the table's motion is effected by a group of relays 9 (time relay and starting relay). The same as at the traditional appliance, the measurement is based on the time of draining an appointed volume of liquid 4 out of the funnel 3 with a nipple 8. Before the measurement the funnel is passing under the liquid supplying channel 13 and filled up with it to overflow. The "measurement"

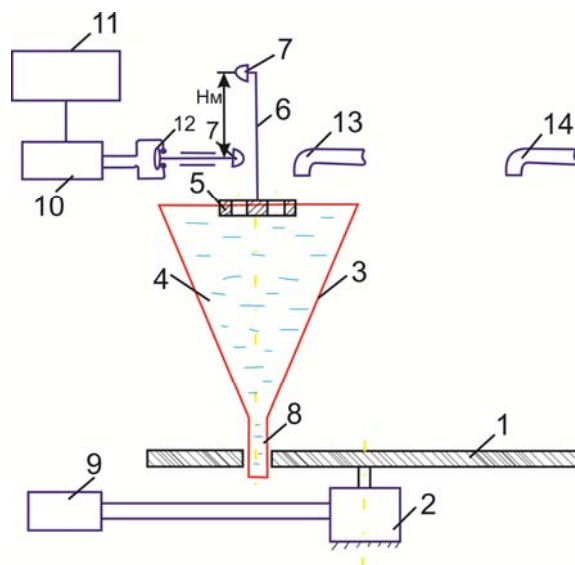


Figure 1 – An installation for the funnel viscosity automatic measurement

position corresponds to the moment, of the funnel getting clean from under the pipe 13, when the incoming flow stops and remains only the outgoing one. At that moment a cam on the rotating table acts upon the relay, which cuts the power supply of the electromotor, and at the same time starts a time counter. During the measurement, together with sinking level of the liquid, sinks the installed in the funnel float 5. At the moment, when the appointed volume  $V_M$  of the liquid has left the funnel, the linked with the float by the stem 6 cam 7 breaks the contact 12 and by doing that stops the time counter and resumes rotation of the table. The signal of the funnel viscosity is supplied to analog-to-digital converter 10 and after processing, appears on the display 11 in seconds. In a similar manner is the table's halt effected, when the funnel comes to the channel 14, supplying water in the "cleaning" position. The only difference consists in the fact, that the time of that second halt is a constant one.

For the purpose of obtaining maximal technological and economic effect from the above described device, theoretical and experimental research has been carried out. The liquid outflow time dependency on the funnel's geometry has been examined. Drilling muds have wide interval of funnel viscosities [1,2]– from 16 up to 100 s and more. For reference viscosity, the viscosity of distilled water at the temperature  $20 \pm 5^{\circ}C$  has been taken. It is constant for any given funnel and for the standard measuring funnels equals 15 s – it is named the "water index". The "water index" characterizes applicability of the funnel for viscosity measuring. The task of the presented research involved studying influence of a funnel geometry on its water index

In the process of liquid draining out of a funnel, under the hydrostatic pressure  $p$  of its column, two kinds of resistance are overcome with two corresponding pressure drops [6,7]:

$$p = \Delta_{p1} + \Delta_{p2} , \quad (1)$$

where  $\Delta_{p1}$  – is the pressure drop on the flow, traveling through the funnel's nipple;  $\Delta_{p2}$  – the pressure drop, caused by flow's contraction, while moving along the narrowing funnel.

$$\Delta_{p1} = \lambda \rho L \frac{8Q^2}{\pi^2 d^5} , \quad (2)$$

where  $Q$  – is the flow rate;  $\rho$  – the liquid's density ( $1000 \text{ kg/m}^3$  for water);  $\lambda$  – the hydraulic resistance factor, depending on the Reynolds criterion and the channel walls asperity;  $d$  – the pipe inner diameter;  $L$  – its length.

An important circumstance in this context is the fact, that pressure drop  $\Delta_{p1}$  is inversely proportional to the fifth degree of  $d$ , and that diameter of the nipple 8 is very small as compared to the diameters of

the funnel itself. Therefore at the further consideration the part of  $\Delta_{P1}$ , related to the funnel, has been neglected; and only that of the nipple taken into account.

$$\Delta_{P2} = \rho \frac{8Q^2}{\pi^2 d^4 a^2}, \quad (3)$$

where  $a$  is the factor of resistance to the flow contraction, which according to V. Simonov [7] in case of a tapered junction to the nozzle is varying from 0.95 to 0.99. So the funnel was considered as a tapered junction to the nipple.

The hydrostatic pressure of a column with the height  $H$  equals

$$p = 9.81\rho H, \quad (4)$$

Using formulae (2), (3) and (4); the equation (1) can be converted to

$$9.81\rho H = \lambda\rho L \frac{8Q^2}{\pi^2 d^5} + \rho \frac{8Q^2}{\pi^2 d^4 a^2} \quad (5)$$

From that the flow rate  $Q$  can be found:

$$Q = \sqrt{\frac{9.81H\pi^2}{8\left(\frac{\lambda L}{d^5} + \frac{1}{a^2 d^4}\right)}} \quad (6)$$

In the process of funnel viscosity measurement, the column height  $H$  is continuously decreasing, which affects  $Q$ . The same is true with relation to the measured volume  $V_M$  of draining liquid, depending both on  $H$  and on the continuously narrowing diameter of the funnel.

The problem was solved by means of computational mathematics methods [8]. A program was compiled, whose algorithm is basing on parameters and considerations as follows:

– The initial volume of the liquid in the conic funnel:

$$V = F * H / 3, \quad (7)$$

where  $F$  – is the area of the cone's base:

$$F = \pi D^2 / 4, \quad (8)$$

where  $D$  – is diameter of the base

– The volume ratio (relative value of the measured volume):

$$K_V = V_M / V, \quad (9)$$

– The geometrical similarity principle stipulates, that the linear dimensions of similar figures are related as cubic roots of their volumes. Conic shape of the liquid, filling the funnel, is similar to that, which remains there after the measured volume has drained out. Relative value of the remaining volume:

$$K_R = 1 - K_V, \quad (10)$$

In view of the aforesaid the drop of the liquid's level  $H_M$  in the process of measurement (see figures 1 and 2):

$$H_M = H - H\sqrt[3]{K_R}, \quad (11)$$

–  $H_M$  (see the figure 2) was divided by virtual horizontal planes into  $n$  equal sections. Thus, liquid in the funnel was divided into  $n$  conic elements numbered  $i$ , beginning with the uppermost element, numbered  $i = 0$ . The height of each element ("the step"):

$$S = H_M / n \quad (12)$$

– Hereafter each conic element was considered as a cylindrical one, whose diameter equals mean (as related to the element's height  $S$ ) diameter of the cross section of corresponding conic element:

$$D(i) = D(1 - S/(2H) - i * S / H), \quad (13)$$

The cross section area:

$$F(i) = \pi D(i)^2 / 4, \quad (14)$$

The volume of the virtual cylindrical element:

$$V(i) = F(i) * S \quad (15)$$

– It was assumed, that volumes of the cylindrical elements and corresponding conic elements are equal. Obviously the approximation error is decreasing with the quantity  $n$  of the elements.

– For each element the corresponding height of liquid column

$$H(i) = H - S/2 - S * i, \quad (16)$$

– The flow rate  $Q(i)$  in the process of draining each liquid element is found by the formula (6)

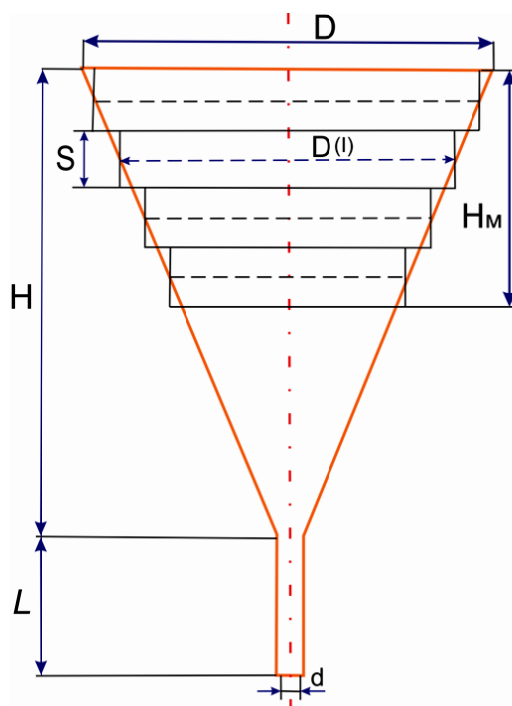


Figure 2 – Division of the funnel’s measuring volume  $V_M$  into  $n$  virtual cylinders

– The corresponding speed of the liquid’s level dropping:

$$\mathcal{G}_H(i) = 4Q(i) / (\pi D^2(i)) \quad (17)$$

– The corresponding time of level dropping within the limits of the element:

$$T(i) = S / \mathcal{G}_{H(i)} \quad (18)$$

– The funnel viscosity of the liquid is the result of the summing up the values, related to all of the  $n$  elements

$$T = \sum_n T(i) \quad (19)$$

– Initially factor  $\lambda$  in formula (2) was chosen, basing on general considerations. However in the program it is amended by iteration method. For that purpose, for each element the velocity of the liquid traveling through the nipple  $\delta$  was found:

$$\mathcal{G}(i) = 4Q(i) / (\pi d^2) \quad (20)$$

The corresponding Reynolds criterion:

$$Re(i) = \mathcal{G}(i) \rho d / \nu, \quad (21)$$

where  $\nu$  – is dynamic viscosity of the liquid

The amended value  $\lambda_C$  of hydraulic resistance factor was found by the formula of F.Shevelev [7], relating to water, passing through smooth pipes with  $Re < 10^6$ :

$$\lambda_C = 0.25 / Re^{0.226} \quad (22)$$

In a program loop the amended value of  $\lambda_c$  was put into formula (6) instead of a preceding one. At each cycle of the loop difference between their values becomes smaller and the loop ends, when it becomes negligibly small.

For verification of the algorithm and the program, calculation of water index of the standard funnel viscosity meter ББП-2 [2] was performed

Table 1 – Description of the funnel of the ББП-2 viscosimeter

#	Name	Value.	#	Name	Value.
1	Height $H$ , m	0.232	7	Measured volume $V_M$ , m <sup>3</sup>	0.0005
2	Level drop $H_M$ , m	0.079	8	Volume ratio $K_V$	0.714
3	Top diameter $D$ , m	0.106	9	Hydraulic resistance factor $\lambda$	0.021
4	Nipple length $L$ , m	0.100	10	Flow contraction factor $a$	0.99
5	Nipple diameter $d$ , m	0.005	11	Virtual cylinders* number $n$	6**
6	General volume $V$ , m <sup>3</sup>	0.0007	12	Cylinder height, m	0.013

\* According to fig. 2.  
 \*\* When the quantity  $n$  of the virtual cylinders in the program was brought up from 6 to 50, the final result did not change. So from precision standpoint the  $n = 6$  is satisfactory.

The data of table 1 were entered into the program, and the sum of level dropping times for all the 6 cylinders (formula 19) was found equal 15 s, – the same as in the ББП-2 certificate

As compared to the traditional manual measurement the automatic measurement device involves a number of additional elements, increasing its size, mass, and cost. So the possibility of their reduction was examined

Precision of measurement is expressed by its relative error [9-17]

$$\delta = \Delta / A, \quad (23)$$

where  $\Delta$  – is an absolute error, and  $A$  – measured value.

On the occasion under consideration  $A$  is the water index, which traditionally equals 15 s. At manual measurement the absolute error  $\Delta$  is basically connected with subjective factors, such as timeliness of starting and stopping the stop watch, overfilling or underfilling the measuring cylinder, correctness of choosing the mud withdrawing place etc. In an automatic device all subjective errors are ruled out, which sharply reduces both  $\Delta$  and  $\delta$ . It follows from the formula (23), that the same precision can be achieved for smaller  $A$  if is reduced proportionally to reduction of  $\Delta$ . So, eliminating subjective errors, makes it possible to reduce the water index of the funnel and consequently the funnel's dimensions, as well as dimensions of the whole automatic installation.

In table 2 descriptions of a funnel, with water index 10 s are given

Table 2 – Parameters of a funnel with water index 10

$H$ , m	$H_M$ , m	$D$ , m	$L$ , m	$d$ , m	$V$ , m <sup>3</sup>	$V_M$ , m <sup>3</sup>	$K_V$	$\lambda$	$a$	$T$ , s
0.1	0.034	0.106	0.04	0.005	0.00029	0.0002	0.714	0.021	0.96	10.0
43*	43	100	40	100	41	41	100	110	98	67

\* Per cent of the corresponding data in table 1.

The table demonstrates essential reduction in dimensions of the funnel, as compared to those of ББП-2. However the internal diameter  $d$  of the nipple and the volume ratio  $\lambda$  are left intact.

It should be observed, that while using this funnel, it does not present a problem for the results of measurements to be demonstrated on the display with coefficient 1.5 – that is according to the conventional scale of funnel viscosity measurement.

Table 3 – Modification of water flow parameters, while performing measurement by the funnel with water index 10 s (6 virtual cylinders)

I	H(i), cm	D(i), cm	F(i), cm <sup>2</sup>	V(i), cm <sup>3</sup>	P(i), Па	Q(i), cm <sup>3</sup> /МИН	$\mathcal{G}(i)$ m/s	$\mathcal{G}_H(i)$ , m/s	T(i), s	Re(i)	$\lambda_C(i)$
0	9.7	10.3	83.3	47,3	953	1350	1.15	0.0027	2.10	57000	0.021
1	9.1	9.6	73.9	42,0	897	1310	1.12	0.0030	1.92	55300	0.021
2	8.6	9.0	65.1	36,9	841	1270	1.08	0.0033	1.74	53600	0.021
3	8.0	8.4	56.8	32,2	785	1220	1.04	0.0036	1.57	51800	0.021
4	7.4	7,8	49.1	27,8	730	1180	1.00	0.0040	1.41	50000	0.022
5	6.9	7.2	42.0	23,3	674	1130	0.97	0.0045	1.26	48000	0.022

The table illustrates performance of the algorithm, used for finding a funnel’s water index:

– In the course of the measurement the height  $H(i)$  of water column decreases from virtual cylinder number  $i$  to that of number  $i+1$  according to formula (16) by the step  $S$  – formula (12). Proportionally to  $H(i)$  decreases cylinder’s diameter  $D(i)$  – formula (13) and hydrostatic pressure  $p(i)$ – formula (4). Cross section areas of the cylinders – formula (14), and their volumes– formula (15) are decreasing proportionally to  $H(i)^2$

– The flow rate  $Q(i)$  – formula (6), and the velocity  $\mathcal{G}(i)$  of the flow in the nipple – formula (20), are decreasing in proportion to  $\sqrt{H(i)}$

– The speed  $\mathcal{G}_H(i)$  of water level dropping is found by formula (17), which is similar to formula (20). However if in formula (20) the diameter  $d$  of the nipple is constant, while in formula (17) decreasing are both: denominator  $D(i)$  and numerator  $Q(i)$ . As the rate of denominator decreasing is smaller, than that of numerator, the value of  $\mathcal{G}_H(i)$  (contrary to  $\mathcal{G}(i)$ ) is growing.

– After  $\mathcal{G}_H(i)$  is found, the time  $T(i)$ , of the level dropping within the limits of each cylinder is determined by formula (18).

– The water index  $T$  is found by summing up the  $T(i)$  – formula (19),

– The Reynolds criterion  $R(i)$  formula (21), related to the traveling through the nipple of the funnel water flow, is decreasing in proportion to  $\mathcal{G}(i)$ , but that did not substantially affect the values of corrected hydraulic resistance factors  $\lambda_C(i)$  – formula (22)

Basing on data of tables 2 and 3, the optimal parameters of the rotating table were determined:

Its radius

$$R \geq 2R_F, \tag{24}$$

where  $R_F$  – is the outer radius of the funnel top

The time of the table’s revolution consists of 5 components (see the fig.3):

$$T_R = T_{HM} + T_{CL} + T_{HCL} + T_{DR} + T_{FL}, \tag{25}$$

where  $T_{HM}$  – is the time of halt for performing measurement;  $T_{CL}$  – the time of cleaning the funnel, while the table is moving;  $T_{HCL}$  – the time of the special halt for cleaning;  $T_{DR}$  – the time for draining cleaning water out of the funnel;  $T_{FL}$  – the time for filling the funnel with measured mud

$T_{HM}$  conventionally varies from water index 15 s to 100 s (the scale of ББР-2 viscosimeter). For the considered funnel it corresponds to actual interval from 10 to 70 s;

$T_{CL} + T_{HCL}$  must guarantee elimination of measured mud traces in the funnel and its nipple. Meeting that requirement depends mostly on the cleaning water stream intensity. As for time, it is reasonable to make it equal to funnel viscosity of muds of high but not extremely high thickness With relation to the conventional funnels it can be taken for 60 s, ergo for the funnel under consideration it makes 40 s



$T_{DR}$  is time, needed for full evacuation of the cleaning water out of the funnel – after the cleaning has terminated but before the filling with mud has started. The program for determining the funnel's water index makes it possible to find precise value of that time too. For that  $K_v=1$  is entered in the program (formulae (9), (10), (11))

$T_{FL}$  depends on diameter of the mud delivering pipe.

The minimal table's rotation period (with deduction of the time of its halts for measurement and cleaning) was found, basing on  $T_{DR}$  time and the diagram on the figure 3.

The table 1 is turning clockwise (see the arrow on the top). The diagram demonstrates mud 3 and water 4 delivery pipes positions with relation to the rotating table and the funnel 2. At the diagram the funnel is situated at the position  $HM$  - that of measuring halt. In that position the funnel has just left the interval  $FL$ . Directly, after the measurement is terminated and the table's motion resumed, it will enter the cleaning interval  $CL$ . In the middle of that interval the table makes a special halt for cleaning. After resumption of rotation, the funnel passes the second half of the cleaning interval  $CL$ , draining  $DR$  and filling  $FL$  intervals, and finally accomplishes the revolution making a halt for performing a next in turn measurement.

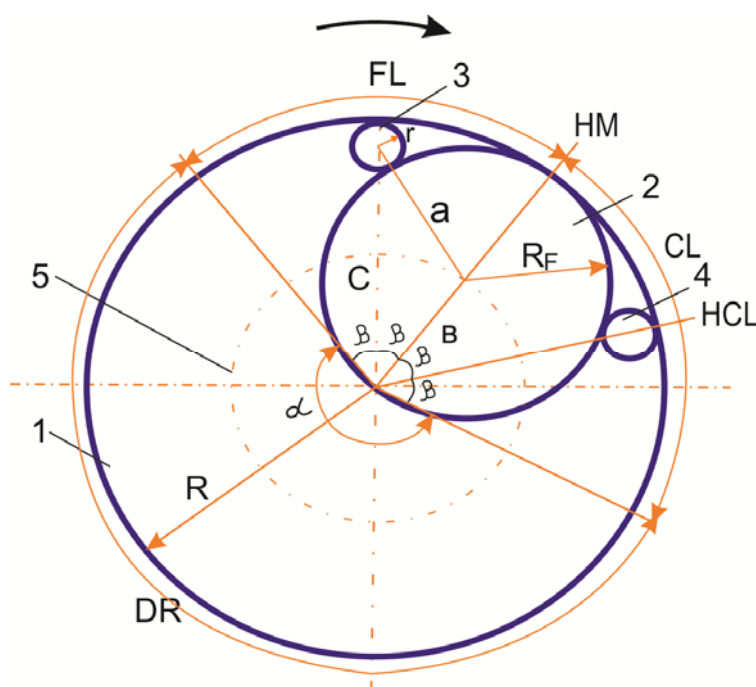


Figure 3 – Positions of the funnel on the rotating table

The table's rotation period (disregarding the halts)

$$T_{RP} = \frac{T_{Dr}}{\alpha} 360, \quad (26)$$

where  $\alpha$  is the angle corresponding to  $DR$  interval on the fig 3

As it follows from the diagram, that angle

$$\alpha = 360 - 4\beta, \quad (27)$$

where angle  $\beta$  is found by considering the  $abc$  triangle on the figure. All the legs of the triangle are found directly from the diagram

$$a = R_F + r, \quad (28)$$

where  $r$  is radius of the mud and water delivery pipe (both pipes are alike).

$$b = R_F \quad (29)$$

$$c = 2R_F - r, \tag{30}$$

Hence according to geometrical rules

$$\beta = \arccos\left(\frac{c^2 + b^2 - a^2}{2cb}\right) \tag{31}$$

The maximal rotation frequency (rpm)

$$m = 60 / T_{RP} \tag{32}$$

Now to find the full time of the table's revolution the formula (25) can be written as

$$T_R = T_{RP} + T_{HM} + T_{HCL}, \tag{33}$$

Funnel mud filling (as well as cleaning while moving  $T_{CL}$ ) time

$$T_{FL} = \frac{T_{DR}}{360} 2\beta \tag{34}$$

Table 4 – Descriptions of the rotating table for the funnel with water index 10 s

#	Name	Value	Formula
1	Funnel's top outer diameter $D_F$ , m	0.108	
2	Funnel's top outer radius $R_F$ , m,	0.054	
3	Table's diameter $D_T$ , m	0.216	24
4	Outer radius of mud and water delivery pipes $r$ , m	0.010	
5	Measurement time $T_M$ , s, from – to	10 – 70	
6	Cleaning time ( $T_{CL} + T_{HCL}$ ), s	40	
7	Water draining time after cleaning $T_{DW}$ , s	16	6,9,17,18,19
8	Mud filling time, $T_{FM}$ , s	3	34
9	Angle $\beta$ between vertical symmetry axis and $HM$	$37^0$	28,29,30,31
10	Angle $\alpha$ of $DR$ interval	$212^0$	27
11	Table rotation period (regardless the halts), $T_{RP}$ , s	27	26
12	Table's rotation frequency $m$ , rpm	2.2	32
13	Actual table's revolution time $T_R$ , s : from – to	74 – 134	25

**Conclusion.** At the drilling technology department of Satpajev Technology Research University a method of drilling mud parameters measurement automatization, basing on application of a rotating table has been proposed; worked out principal details of the installation for automatic measuring the drilling mud funnel viscosity; according to the laws of hydraulics, and by means of the computation mathematics, a computer model of the funnel viscosity measuring process has been created; successfully performed verification of the model's adequacy, by calculating the water index of a standard instrument for measurement funnel viscosity, basing on its geometrical dimensions; basing on the worked out computer model, for the purpose of reducing dimensions and costs of the installation for drilling muds funnel viscosity automatic measurement, optimal values of its principal parameters are established.

#### REFERENCES

- [1] Georg R.Gray, H.C.H. Darly. Composition and properties of oil well drilling fluids. Gulf publishing company// Huston, London, Paris, Tokyo, Moscow 1985
- [2] A drilling contractor's reference book. Moscow: "Infra ingeneria" 2006
- [3] Biletskiy M., Kasenov A, Sushko & Begun A. The Kazakhstan Republic's Patent E21B 45/00 # 25680 of 16.06.2014
- [4] Biletskiy M., Ratov B, Kasenov A. Method of automatic measurements of drilling mud quality parameters: Int. J.Chem.Sci.:11(4), 2013, 1705– 7012 ISSN 0972–768X . www.sadgurpublications.com
- [5] Biletskiy M, Darmenov E. Automatization of drilling muds parameters control: Collected works of the conference "Geo-logy and oil & gas in XXI sentuty". Almaty 2016

- [6] Rabinovich. E. Hydraulics: Moscow "Nedra" 1980
- [7] Mittelman B. Reference book on hydraulic calculations in drilling: Moscow, Gostoptekhizdat 1963
- [8] Guter R. Ovchinsky. B. Elements of digital analysis: Moscow "Nauka" 1970
- [9] Vasiljev A. Foundations of metrology and technological measurements: Moscow "Mashinostroeniye" 1988
- [10] Biletskiy M. Measuring equipment in drilling: Almaty KazNTU 2013
- [11] Kassenov A.K., Ratov B.T., Moldabekov M.S., Faizulin A.Z. & Bukenova M.S. (2016) The reasons of formation of oil seals when drilling geotechnological wells for underground leaching of uranium ores // 16<sup>th</sup> International Multidisciplinary Scientific GeoConference, Albena, Bulgaria, 2016, ISBN 978-619-7105-55-1 / ISSN 1314-2704, Book 1 Vol.1,633–639pp.
- [12] Ratov B.T., Igembayev I.B., Omirzakova E.Zh. & Zhanabayev T.A. (2016) New generation of polymer drilling fluids with low content of clay for drilling of wells in difficult conditions // 16<sup>th</sup> International Multidisciplinary Scientific GeoConference, Albena, Bulgaria, 2016, ISBN 978-619-7105-57-5 / ISSN 1314–2704, Book 1 Vol. III, 865–874 pp.
- [13] Biletski M. T., Ratov B. T., Kasenov A. K. & Ibyldaev M. H. (2015) Caving control while drilling through highly dispersible clays at uranium deposits of Kazakhstan // 15<sup>th</sup> International Multidisciplinary Scientific GeoConference, Albena, Bulgaria, 2015, Vol. 2, pp. 157–164 DOI: 10.5593 / B12 / S2.021. ISBN 978–619–7105–32–2 / ISSN 1314–2704, Book1 Vol.2, 157–164pp.
- [14] Kassenov A. K., Biletskiy M. T., Ratov B.T. & Korotchenko T.V. (2015) Problem analysis of geotechnical well drilling in complex environment // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 24 012026 DOI: 10.1088 / 1755–1315 / 24/1 / 012,026.
- [15] Kozhevnykov A. A., Ratov B. T., & Filimonenko N. T. (2014) Classification of fluids fed by displacement pumps // Int. J. Chem. Sci. : 12 (4), 1161–1168, ISSN 0972 – 768X
- [16] Shipulin A.V., Nifontov Y.A., Ratov B.T., Fedorov B.V. & Zhanabayev T.A. (2014) To the issue of searching an alternative heating method for bottom hole zone of the oil formation // Life Sci J; 11 (10s): 457–460] (ISSN 1097–8135).
- [17] Biletski M. T., Ratov B. T., Kassenov A. K. & Sushko S. M. (2013) Method of automatic measurements of drilling mud quality parameters // Int. J. Chem. Sci.: 11 (4), 1705–1712 (ISSN 0972–768X).

**М. Т. Билецкий, Б. Т. Ратов, А. Р. Байбоз**

Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

### **БҰРҒЫЛАУ ЕРІТІНДІСІНІҢ ТҮТҚЫРЛЫҒЫНЫҢ ШАРТТЫ ЖАҒДАЙДА АВТОМАТТЫ ТҮРДЕ ӨЛШЕУДІҢ ҒЫЛЫМИ ДӘЛЕЛДЕНУІ**

**Аннотация.** Айналымалы үстелге орнатылған түтікшесі бар құйғыш арқылы бұрғы ерітіндісінің шартты тұтқырлығы өлшенетін автоматты қондырғы қарастырылады (Қазақстан Республикасының патенті). Әр бір айналыста құйғыш төрт жақты өтеді: толтырылған өлшенетін ерітіндімен, оның тұтқырлығын өлшеу, ерітіндінің қалдықтарын жою, құйғышқа толтырылған суды жою. Өлшеуді жүргізу үшін үстелді кою және уақыт өлшегішті қосу құйғыштың ерітінді келетін түтікшеден шыққан кезде үстелде орналасқан тетікті әрекетке келтіру нәтижесінде қалыпты тұйық байланыстырғыш арқылы орындалады. Ерітіндінің өлшенетін көлемі аяқталғанда, құйғыштағы қалқыма төмен түседі уақыт есептегішті өшіреді және үстел айналымын жаңадан орындайды. Үстел қозғалысын уақыт релесі және қосқыш реле басқарады. Электірлік өлшегіш сигналдар сандық түрге ауысады және бұрғышының табло пультына жіберіледі. Құйғыш құрал көмегімен шартты тұтқырлықты өлшеу процессінің математикалық моделі жасалған, компьютерлік бағдарлама құрастырылған. Сұйықтықтың шартты тұтқырлығы виртуалдық цилиндрдің ағу уақытының жиынтығымен анықталады. Анықталған теңдей бөлшектердің саны сұйықтықтың өлшенетін көлемінің қысымы арқылы пайда болған, виртуалдық цилиндрдің диаметрі кесілген конустың сәйкестендірілген ораша диаметріне тең. Әрбір виртуалды цилиндрдің оның гидростатикалық қысымының сәйкес биіктігі сұйықтықтың қысымын екі рет жоғалтқан теңдік түрінде көрсетілген: біріншіден құйғыш бойымен қозғалыс кезіндегі оның қысылған ағымның нәтижесінде және екіншіден оның ұшындағы түтікше арқылы өтуінде. Ең соңғы жағдайда гидравликалық кедергінің нақты коэффициенті оның шынайы белгісін қамтамасыз ететін инерция әдісімен анықталады. Әрбір виртуалды цилиндрге алынған басқару сұйықтықтың шығымын және сонымен бірге оның ұшы бойынша жылдамдығын, құйғыштағы деңгейінің түсуін және түсу уақытын анықтауға мүмкіндік береді. Бұл уақыттардың жиынтығы сұйықтықтың шартты тұтқырлығын береді. Үлгінің дұрыстығы ВБР-2 шығын өлшегішінің геометриялық өлшемдер негізінде жасалған құйғыштың су санын (15 с) өлшеу арқылы дәлелденген. Үлгі бұрғы ерітінділерінің шартты тұтқырлығын автоматты түрде өлшейтін қондырғының оңтайлы конструктивті параметрлерін жасауға қолданған, өлшейтін құйғыштың өлшемін оның өлшеу дәлдігін сақтап қалу арқылы кішірейту қарастырылған, сонымен бірге үстелдің толық бір айналымы кезінде өлшемдердің минималды мүмкіндігі қарастырылған.

**Түйін сөздер:** ұңғыны бұрғылау технологиясы, бұрғы ерітінділердің шартты тұтқырлығы, өлшеу құралдары, өлшеуді автоматтандыру, теориялық негіздеу, сандық математика, бағдарламалау.

М. Т. Билецкий, Б. Т. Ратов, А. Р. Байбоз

Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева,  
Алматы, Казахстан

### НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАБОТЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ УСЛОВНОЙ ВЯЗКОСТИ БУРОВОГО РАСТВОРА

**Аннотация.** Рассматривается устройство для автоматического измерения условной вязкости бурового раствора (патент Республики Казахстан), включающее поворотный стол с установленной на нем воронкой с трубчатым наконечником. При каждом повороте воронка проходит четыре положения: наполнение измеряемым раствором, измерение его вязкости, промывка с удалением следов раствора, удаление заполняющей воронку воды. Остановка стола для производства измерения и запуск счетчика времени происходит под воздействием на нормально замкнутый контакт расположенного на столе кулачка в момент выхода воронки из под подающей раствор трубки. При завершении истечения мерного объема раствора, находящийся в воронке поплавков, опускаясь, отключает счетчик времени и возобновляет вращение стола. Движением стола управляют реле времени и пусковые реле. Электрический измерительный сигнал преобразуется в цифровую форму и подается на табло пульта буровика. Составлена компьютерная программа, представляющая собой математическую модель процесса измерения условной вязкости с помощью мерной воронки. Условная вязкость жидкости определяется как сумма времен вытекания объемов виртуальных цилиндров, образованных в результате деления высоты мерного объема жидкости на определенное число равных частей, причем диаметр виртуальных цилиндров принимается равным среднему диаметру соответствующего усеченного конуса. Для каждого виртуального цилиндра соответствующее высоте его положения гидростатическое давление представлено в виде уравнения, как сумма двух потерь давления жидкости: во-первых, в результате сжатия ее потока при движении вниз по воронке и, во-вторых, при ее прохождении через трубчатый наконечник. В последнем случае точное значение коэффициента гидравлических сопротивлений определяется методом итераций, обеспечивающим последовательное приближение к его истинному значению. Для каждого виртуального цилиндра упомянутое уравнение позволило определить расход жидкости, и по нему – скорость ее движения по наконечнику, скорость опускания ее уровня в воронке и время опускания. Сумма этих времен и дает условную вязкость жидкости. Адекватность модели подтверждена путем вычисления водного числа (15 с) воронки серийно выпускаемого расходомера ВБР-2 на основании ее геометрических размеров. Модель использована для разработки оптимальных значений важнейших конструктивных параметров установки для автоматического измерения условной вязкости бурового раствора, включая размеры мерной воронки – существенно уменьшенные, по сравнению с серийно выпускаемыми воронками, при сохранении и увеличении точности измерений, – а также минимально возможный интервал между последовательными измерениями – на основе установления необходимого времени каждой из основных операций, осуществляемых при одном полном обороте стола.

**Ключевые слова:** технология бурения скважин, условная вязкость буровых растворов, измерительные средства, автоматизация измерений, теоретическое обоснование, вычислительная математика, программирование.

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 4, Number 424 (2017), 133 – 141

UDC669.213.6

**B. N. Surimbayev<sup>1,2</sup>, A. O. Baikonurova<sup>1</sup>, L. S. Bolotova<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Kazakh National Research Technical University after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan,<sup>2</sup>The Branch of the RSE «NC CPMS RK» State scientific-industrial association of industrial ecology "Kazmekhanobr", Almaty, Kazakhstan.

E-mail: surimbaev@gmail.com, a.baikonurova@yandex.kz, L\_bolotova@yahoo.com

**PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE PROCESS OF INTENSIVE CYANIDATION OF GOLD-CONTAINING PRODUCTS IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

**Abstract.** Data on the raw materials base of the gold mining industry of Kazakhstan, as well as the role of Kazakhstan in gold mining in the world and CIS countries are given. The history and development of the process of intensive cyanidation of gold-containing products in world practice is shown. The prospects of using this method in the Republic of Kazakhstan are shown. Technological schemes of intensive cyanidation are given depending on the material composition of the raw materials.

**Key words:** intensive cyanidation, gravity concentration, centrifugal concentrator, Acacia, ILRGekko, cyanidation, gold production.

In recent years, there has been a significant increase in the production of precious metals, particularly gold. This is due to the fact that gold is the main banking metal and is a currency reserve of many countries. This issue is especially topical because of the instability of the convertible world currencies, the fall in prices for securities and the consequences of the global financial crisis.

Gold in nature is found mainly in the native state, mainly in the form of small grains interspersed in quartz or contained in quartz sand. In small quantities, gold is found in sulphide ores of iron, lead and copper. Throughout history, mankind produced about 161 thousand tons of gold (estimate for 2011). If you fuse all this gold together, you get a cube with a side of about 20 m [1, 2].

Currently, 50% of gold is used in jewelry, 40% is used as an investment and the remaining 10% is used in industry [3].

The world gold production in 2015, according to Metals Focus, was 3211 tons [4]. The largest countries producing gold are listed in Table 1 and Figure 1.

Table 1 – Twenty leading gold mining countries [4]

Place	Country	Extraction, t	
		2014	2015
1	2	3	4
1	China	462,0	460,3
2	Australia	274,0	273,8
3	Russia	264,7	268,5
4	United States	210,0	214,0
5	Peru	171,1	170,5
6	South Africa	168,6	167,5
7	Canada	151,2	157,2

1	2	3	4
8	Mexico	112,7	133,2
9	Indonesia	93,8	113,0
10	Brazil	91,6	95,0
11	Ghana	106,3	94,7
12	Uzbekistan	83,5	85,5
13	Kazakhstan	49,2	63,7
14	Argentina	60,0	63,5
15	Papua New Guinea	60,7	58,4
16	Tanzania	50,8	51,7
17	Mali	52,8	50,1
18	Colombia	47,0	44,0
19	Philippines	40,4	41,1
20	Chile	44,5	41,1
	Others	558,1	564,4
	Global Total	3153	3211

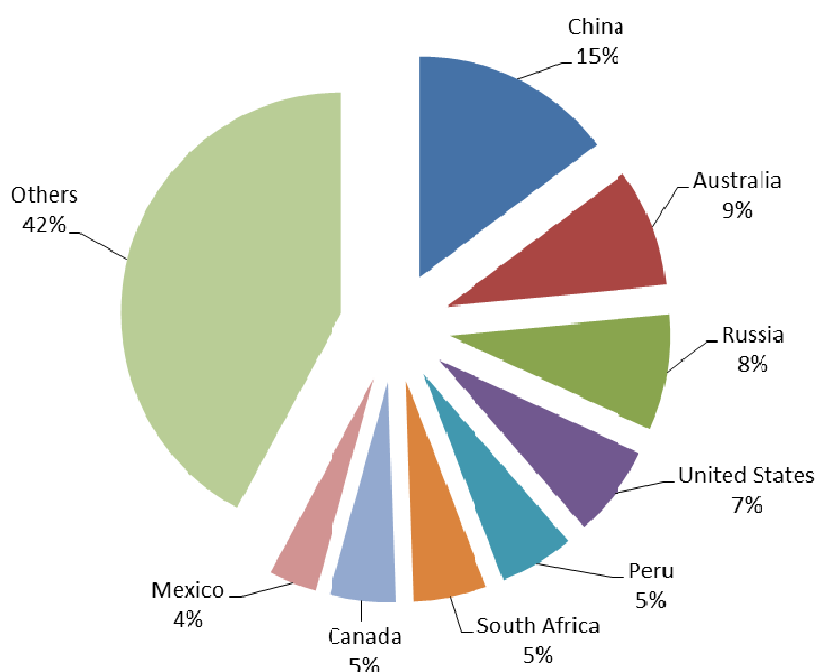


Figure 1 – The largest gold producers in 2015

In 2014 Kazakhstan occupied the sixteenth place in the production of gold (49.2 tons), and in 2015, it took the thirteenth line, increasing gold production by 29% (63.7 tons) [4].

Table 2 shows gold production in the CIS countries in the periods from 2010 to 2015.

Table 2 – Gold mining in the CIS countries [4]

Country	Extraction, t					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Russia	203,1	211,6	229,3	248,5	264,7	268,5
Uzbekistan	71,0	70,6	80,0	81,0	83,5	85,5
Kazakhstan	30,3	36,8	40,0	42,4	49,2	63,7
Kyrgyzstan	19,0	19,7	11,4	20,2	19,3	18,7
Other	5,7	5,9	5,9	7,1	7,2	8,8
Total	329,0	344,7	366,6	399,2	423,9	445,3

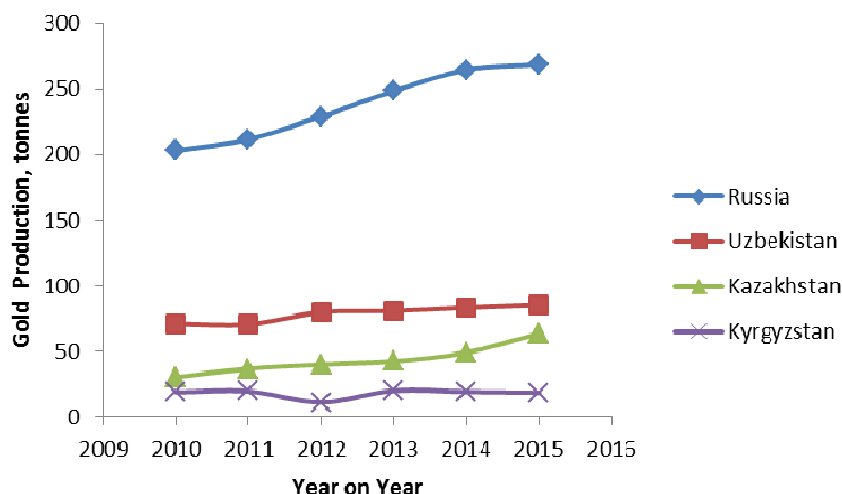


Figure 2 – Graph of gold production in the CIS countries

As can be seen from Figure 2, Kazakhstan is the third largest gold producer among the CIS countries after Russia and Uzbekistan. And recently, the growth of gold production in Kazakhstan continues. The country's resources are estimated at 1.8 thousand tons, gold reserves are ~ 800 tons (according to 2009 data) [5].

Gold ore deposits have been identified in all regions of the republic, East (about 52.2%), North and Central Kazakhstan (30%) occupy the leading positions in terms of reserves, where 16 mining regions are located. The most important of them are: in the east - Kalbinsky and Rudno-Altaysky, in the north - Kokshetausky and Zhetigarinsky, in the south - Shu-Iliysky and Dzungarsky, in the west - Mugodzarsky, in the central part - Maikainsly and North Balkhash.

The raw material base of the gold mining industry in Kazakhstan is represented mainly by small (with reserves of up to 25 tons) and medium (from 25 to 100 tons) deposits. According to some sources, there are 122 indigenous gold ore deposits, 81 integrated and 34 placer mines [6, 7].

Gold ore deposits in Kazakhstan are characterized by low metal content in the ore, as well as the presence of a significant proportion of refractory ore. At the same time, the comparatively favorable mining technical conditions of extraction make it possible to keep its production costs at the level of the world average.

Easy enriched and oxidized ores, which are the main resource of gold mining companies, are already running low and half of all gold reserves are concentrated in the 8 largest complex fields –Bakyrchik, Vasilkovskoye, Mizek, Suzdalskoe, Bolshhevik, Akbakay, Bestobe and Zholymbet. In them, gold-bearing ores are generally classified as stubborn [6].

Currently, licenses are issued for about half of the number of deposits, of which about 30 are in service. Some industrial enterprises extract gold as a by-product in the processing of polymetallic ores. The "KAZ Minerals" company (formerly Kazakhmys), the leading copper producer in the country, also simultaneously extracts gold from the ore. In 2012, gold production amounted to 3.6 tons (with a content of 0.66 g/t), in 2013 - 3.2 tons (at a content of 0.61 g/t) [8, 9].

The largest gold mining facility in Kazakhstan is the Vasilkovskoye deposit, located 17 km north-west of Kokshetau. The proven reserves of deposits amount to 370 tons of gold, with an average ore grade of 2.8 g/t. The deposit has been under development since 1979. Since 1991, at the Vasilkovskoe Ore Mining and Processing Enterprise, the processing of oxidized ore was carried out by heap leaching. The capacity of the heap leach plant was 1 million tons of ore per year with an average annual production of 600 to 900 kg of gold. In 2007, the deposit began construction of a large gold recovery plant with modern ore processing technology. At full design capacity, the mine should produce 15 tons of gold per year. Capital investments amounted to about 700 million dollars. The factory was built in two years. In 2010, at the suggestion of the Head of state VasilkovskyGOK was renamed into the "AltyntauKokshetau" company [8, 10].

The second place is occupied by the Bakyrchik deposit located in the northeast of Kazakhstan (about 100 km from Semipalatinsk) [11]. In the second largest gold deposit of Kazakhstan, gold mining is still not conducted due to the high persistence of the ore, high content of arsenic and organic carbon in the ore. Plans for processing such ore by bioleaching have not been implemented, since this technology requires high costs [7, 12, 28].

The following in order of industrial importance can be noted the Aksu, Bestobe, Zholymbet. All of them are worked underground. The ores in the deposits are represented as quartz veined, and in the form of mineralized zones. The mines are located within a radius of 100 km from the central base, located in Stepnogorsk (Akmola region). The richest and easily accessible ores are worked out, in connection with this, in the period of low gold prices there was a decline in production. However, the significant gold reserves of these deposits are more than 100 tons, and the predicted reserves are 400 tons [8, 28].

Despite the fact that Kazakhstan's major and medium size fields are currently mostly exploited, the country has a significant number of small deposits that require additional exploration (Table 3).

Table 3 – Main gold deposits in Kazakhstan [6]

Location	Gold Deposits
North Kazakhstan	Vasilkovskoye, Varvarinskoye, Uzboi, Symbat, Komarovskoye, Elevatornoye, Akkarginskoye, Zhetygorinskoye
Central Kazakhstan	Aksu, Zholymbet, Bestobe, Maikain, Kvartsytovye Gorki, Ushoky, Yenbekshi, Pustynnoye
East Kazakhstan	Bakyrchik, Suzdalskoye, Sekosovskoye, Bolshevik, Vasiliyevskoye, Ridder-Sokolnoye, Zhanan, Akzhal, Kaskabulak
South Kazakhstan	Akbakai, Altyntas, Dalabai, Aksakal-Beskempir, Mynaral, Zharkulak, Karamurun, Arkharly, Kumysty
West Kazakhstan	Yubelienoye

Therefore, the development of technology for the effective enrichment of gold-containing raw materials and the development of research in this direction is timely and important.

Methods of ore dressing consist of the ore pretreatment operation (crushing, screening, sorting, grinding) and methods of beneficiation of prepared ore (gravity, flotation, magnetic separation, etc.). Metallurgical methods for processing ores and concentrates include cyanidation (or other leaching techniques), amalgamation, roasting, sorption methods for extracting gold from pulps and solutions, extractive methods, hydrochlorination, autoclave oxidation [13].

It is known that the most common process of extracting gold from poor ores is cyanidation. This process is based on the selective leaching of gold or other noble metal by aqueous solutions of alkaline cyanides: sodium, potassium or calcium. The resulting solution containing dissolved gold is sent for processing by various methods to obtain a high-quality commodity product in the form of Dore gold in ingots. The resulting alloy is sent to the refinery to produce gold of the required purity [14].

In the practice of gold production for the extraction of large grains of free metal, gravity enrichment is used, which is the oldest method of processing mineral raw materials [15]. For a long period of time this method has undergone changes - from simple washing and separation of grains on the inclined plane to the use of centrifugal concentrators. The method of separation of mineral grains by density in gravity devices is simple and can enrich placer gold in remote areas without the existing infrastructure. In addition, this method does not require the use of chemical reagents and is characterized by low energy intensity [16, 17]. The need to allocate large gold, which is present in almost all ores, is determined by the following reasons [18-20]:

- the duration of dissolution of large particles during cyanidation is increased;
- large particles of gold will accumulate in grinding and classifying equipment;
- particles of large gold in the grinding cycle (mill-classifier) are overwritten.

To prevent the accumulation of gold in the classifier and overwriting in the mill, free gold is continuously withdrawn from the circulating load by the gravitational enrichment method.

New technological schemes for the enrichment of gold-containing products, which include gravity on centrifugal concentrators, allow to obtain concentrates rich in gold content (>100 g/t) with a relatively small yield.



Hydrometallurgical processing of rough gravity concentrates is carried out by cyanidation. The essence of the method lies in the leaching (dissolution) of gold using solutions of cyanide salts in the presence of an oxidizer (oxygen). Factors that affect the cyanidation process can be conditionally divided into two groups: depending on the material composition (gold size, gold form, gold surface and presence of impurities) and technological ones that can be controlled - mixing, temperature, pressure, pH value, viscosity of pulps [21].

Hydrometallurgical processing of these concentrates by traditional methods of cyanidation is difficult due to the lack of equipment of low productivity and significant losses of metal with a cake.

Until recently, the only acceptable method of processing them was considered deep debugging (cleaning), followed by melting the resulting "gold heads" on metal ingots. However, special devices have now been created that permit the leaching of large grains of metallic gold by cyanide solutions.

Since the early 1990s, the introduction of centrifugal concentrators (Knelson, Falcon, etc.) in many plants has significantly increased the extraction of gold into gravity concentrates (by 1-3%), including the processing of ores with a high sulfide content [22-25]. However, standard methods for processing gravity concentrates allow gold recovery at a level of no more than 70% [26]. To solve this problem, intensive cyanidation plants have been tested, which make it possible to achieve a high extraction of gold from gravity concentrates for an acceptable time for the general technological cycle (6-24 h).

In the process of intensive cyanidation, solutions with a higher concentration of cyanide, protective alkali with the addition of soluble compounds of lead (II) and an oxidizer are used.

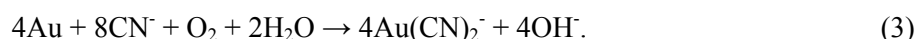
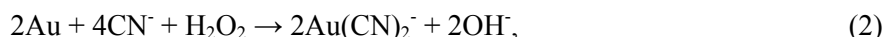
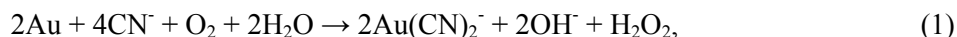
For the first time in the world, the intensive cyanidation method for the processing of gravity concentrates was applied at the South Africa plant (Western-Holdings) in 1977 and then at the gold-processing plant in East-Gold in 1980. As leach reactors, column type plants with mechanical mixing, equipped with a circulator or revolving arms, were used [27, 28].

But, until recently, interest in the intensive cyanidation process has faded, due to a number of reasons. Firstly, the largest corporations did not consider the gravitational enrichment as a strategic direction for the development of technology for processing South African gold-containing ores. Secondly, the use of agitators with mechanical mixing caused technical problems associated with the rapid deterioration of equipment. Thirdly, there were no opportunities to automate the process, which created the prerequisites for the organization of gold theft [22].

The renewed interest in the process of intensive cyanidation occurred relatively recently in connection with the use of reactors and new type installations. Thus, the Acacia intensive cyanidation reactor was developed by AngloGoldAustralia for the Union-Reef plant (South Africa) in 1999 [25]. In mid-2003, these reactors were used in 27 plants of leading foreign gold mining companies: in Australia – 11; in Zimbabwe – 5; in Canada – 3; in South Africa, Papua New Guinea and Mongolia – by 1; in Russia – 5 [29].

Acacia is a complex compact installation, the core of which is a cone-shaped reactor with a suspended layer of concentrate due to the upward flow of the solution. Due to the high concentration of reagents in the solution (2-3% NaCN, 0.2-0.35% NaOH, 0.1-1.0% Leach - accelerator), intensive cyanidation leads to the dissolution of gold both free and rising into the crystal lattice of sulfide minerals. This makes it possible to reduce the number of pieces of equipment in the subsequent processing stages, to reduce the gold content in the tailings, and also to increase the overall gold recovery by 1.0-1.5% [30, 31].

Leaching of gold by alkaline cyanide solutions in the presence of oxygen or air is a widely used process for extracting gold from mineral raw materials. The gold is oxidized and dissolved in the presence of cyanide to form the complex ion  $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$  according to the Bodlander (1) and (2) and Elsner (3) equations, the latter is the sum of equations (1) and (2) [32-35]:



The behavior of gold during cyanidation depends on a number of factors, of which the main is the relationship of gold to ore and rock-forming minerals. Gold can be as in a free state, and in the form of splices with minerals. Any of these gold conditions can affect its under-extraction during dissolution and cause an increased consumption of reagents [36].

Excessive oxidation of sulphides during gold leaching can also lead to gold passivation due to the formation of gold surface coatings by oxidation products [35].

The presence of sulfides such as marcasite, pyrrhotite or chalcocite in cyanate pulp often inhibits the dissolution of gold, forming a protective film on the surface of gold [21].

To intensify the process of gold leaching, chemical additives are used. Chemical additives, depending on their nature, can be divided into inorganic and organic. Cyanidation accelerators under the trade names LeachAid, LeachWell and others are a mixture of organic and inorganic sodium salts (93-99%), lead nitrate (1-5%) and water (up to 5%). Made in the form of small granules of slightly yellow color, odorless LeachWell or with a weak smell of caramel LeachAid are stable up to a temperature of 300 °C. The density of these reagents is 1 g/cm<sup>3</sup>, the solubility in water is 35-40 g/dm<sup>3</sup>[21, 31].

Under the conditions of standard cyanidation, the presence in the solution of the reagent-accelerator makes it possible to increase the dissolution rate of gold and the degree of its extraction from the gravitational concentrate and to shorten the leaching time [31].

In 1997, in Australia (GekkoSystems), an intensive cyanidation unit was developed – InLineLeachReactor (ILR), originally introduced at a number of African factories of AshantiGoldfields, and is currently used in more than 20 foreign factories [31, 37].

The ILR reactor is also a simple apparatus for intensive cyanidation of gravity concentrates. The ILR reacts according to the semi-submerged layer principle and represents a horizontally mounted drum rotating at a low speed, with a set of special partition walls and an aeration system for maximum leaching. In addition to the proven reactors for intensive cyanidation of Acacia and ILRGekko, there are other devices of different design and characteristics.

Many domestic gold mining companies, still using traditional technology of gold enrichment, begin to show interest in the process of intensive cyanidation. Thus, the Acacia (Knelson/ConSep) intensive cyanidation reactors are installed and operate at the fields Pustynnoe and Akbakay for the enrichment of gold-bearing concentrates [38].

Intensive cyanidation, depending on the material composition, can be used in a variety of technological schemes. Figure 3 shows a flow chart of intensive cyanidation for the processing of easily cyanidized raw materials. According to the presented technology, concentrates after gravity concentration are sent to the intensive cyanidation process, in which, productive solutions are processed by electrolysis methods. The cake is sent to the tailing dump.

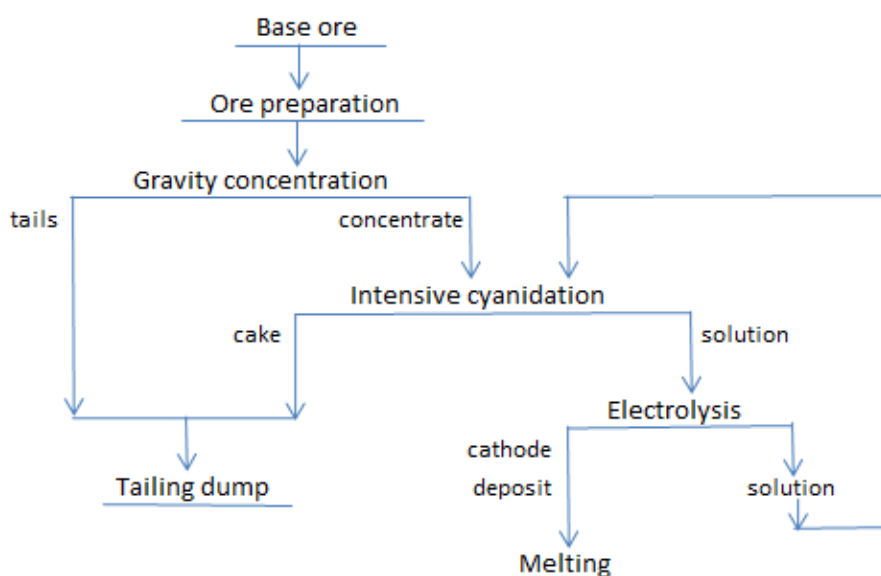


Figure 3 – Technological scheme of intensive cyanidation for the processing of easily cyanidized raw materials

For oxidized ores with a small content of sulphides, a process scheme is used in which the cake after intensive cyanidation is returned to the process for complete gold recovery (Figure 4).

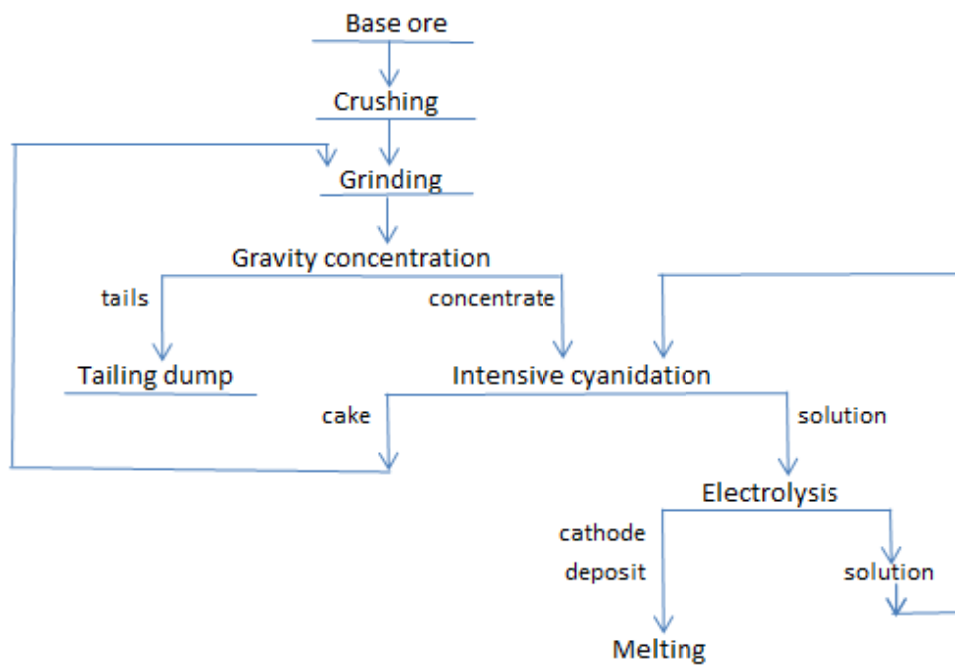


Figure 4 – Technological scheme of intensive cyanidation for oxidized ores

In the scheme for processing sulphide ores, the cake after intensive cyanidation is directed to sorption leaching (Figure 5).

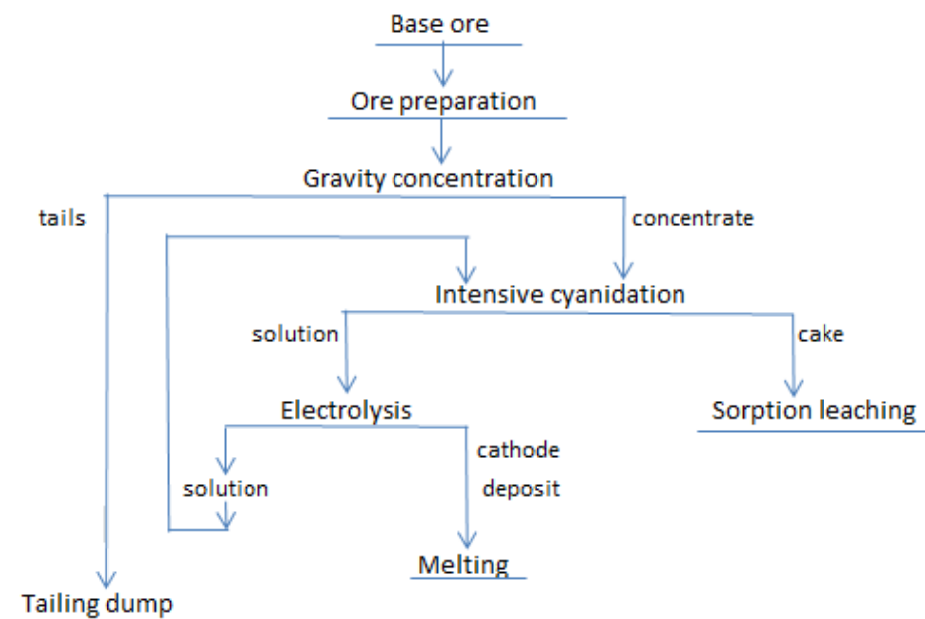


Figure 5 – Technological scheme of intensive cyanidation for sulphide ores

The use of the intensive cyanidation process allows to increase the processing of gold-containing ores by introducing more branched technological schemes.

The data presented in the review show that intensive cyanidation represents a prospect for the processing of gold-containing materials, because it shortens the duration of the cyanidation process and reduces the loss of gold, thereby achieving a high recovery of gold from the gravity concentrate into the solution.

REFERENCES

- [1] Surimbayev B.N., Bolotova L.S., Baikonurova A.O., Mishra B. Study of process cyanide leach gold from ore and gravity concentration tailings sulfide and oxide ores [Izuchenie processa cianidnogo vyshhelachivaniya zolota iz rudnykhovostov gravitacionnogo obogashheniya sul'fidnyhiokislennyhrud]. Bulletin of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Vol. 4. Number 362 (2016). P. 260-266. ISSN: 1991-3494 (In Russian)
- [2] The cost and reserves of gold in the world. Analytics. <http://ria.ru/infografika/20110824/422749631.html>
- [3] Soos, Andy. Gold Mining Boom Increasing Mercury Pollution Risk. <http://oilprice.com/Metals/Gold/Gold-Mining-Boom-Increasing-Mercury-Pollution-Risk.html>
- [4] Metals Focus Gold Focus 2016. London. 2016. P. 15-19. ISBN: 978-0-9935876-0-3. <http://info.sharpspixley.com/uploads/GoldFocus2016.pdf>
- [5] Donskih A. Barrier for gold: What prevents the noble metal from becoming the leading financial market. The newspaper is Kazakhstanskaya Pravda. 2009. 25 June. P.8 (In Russian)
- [6] Michael E. Wilson, Elena Lee. Kazakhstan's Gold Mining Sector and the New Regulation on Gold Sales. Alchemist issues sixty six. P. 12-15 (in Eng.)
- [7] Bulenbaev M. Zh. Development of technology for extracting gold from persistent gold-bearing raw materials [Razrabotka tehnologii i izvlecheniya zolota iz upornogo zolotosoderzhashhegosyr'ya]. Dissertation. Almaty. Kazakhstan. 2015. P. 13-14 (In Russian)
- [8] Verhozin S.S. Gold Mining Industry of Kazakhstan [Zolotodobyvayushhaya promyshlennost' Kazahstana]. <https://zolotodb.ru/news/11194>
- [9] Kazakhmys PLC. Annual Report and Financial Statements for 2013. [http://www.kazminerals.com/pdf/ara\\_2013\\_ru.pdf](http://www.kazminerals.com/pdf/ara_2013_ru.pdf)
- [10] Altyntau Kokshetau. <http://www.altyntau.com/>
- [11] Gold of Kazakhstan: a brief review. <http://www.investkz.com/journals/38/236.html>
- [12] Speech Madiev B.M. at a seminar-meeting in the Ministry of Industry and New Technologies of the Republic of Kazakhstan. The state of the raw material base of the gold mining industry, the direction and ways of development of geological exploration for gold in the Republic of Kazakhstan. 04.02.2014. <http://www.parasat.com.kz/index.php?id=899&L=2>
- [13] Bajysbekov Sh. Combined cyanide-free processing technology of resistant gold-bearing weathering crusts [Kombinirovannaya bescyanidnaya tehnologiya pererabotki upornyykh zolotosoderzhashhih rudokoryuyvvetrivaniya]. Dissertation. Almaty. Kazakhstan. 2008. P. 260 (In Russian)
- [14] Marsden J., House I. The Chemistry of Gold Extraction. Society for Mining, Metallurgy and Exploration. USA. 2006. P. 48-50. ISBN-13: 978-0-87335-240-6 / ISBN-10: 0-87335-240-8 (in Eng.)
- [15] Meretukov M.A. Gold: the origin of mining, metallurgy and technology [Zoloto: zarozhdenie gornogo deliya, metallurgii i tehnologii]. Moscow. Rudai Metally. 2008. P. 180. ISBN: 978-5-98191-042-5 (In Russian)
- [16] Verhoturov M.V. Gravity concentration methods [Gravitatsionnyye metody obogashheniya]. Moscow. 2006. P. 7-18. ISBN: 5-317-01710-6 (In Russian)
- [17] Surimbayev B.N., Baikonurova A.O., Bolotova L.S. Investigation of the process of gravity concentration of gold-containing sulfide ores. [Issledovanie processa gravitacionnogo obogashheniya zolotosoderzhashhih sul'fidnykh rud]. Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Vol. 3. N 313 (2017). P. 55-60. ISSN: 2224-5227 (In Russian)
- [18] Chryssoulis, S.L. and McMullen, J. Mineralogical Investigation of Gold Ores. In: Adams, M.D., Ed. Advances in Gold Ore Processing. Elsevier. The Netherlands. 2005. P. 21-67. DOI: 10.1016/S0167-4528(05)15002-9 (in Eng.)
- [19] Meretukov M.A. Gold. Chemistry, Mineralogy, Metallurgy [Zoloto. Himiya, mineralogiya, metallurgiya]. Moscow. Rudai Metally. P. 520. ISBN: 978-5-98191-043-2 (In Russian)
- [20] Lodejshnikova V.V. Technology and technology of extracting gold from ores abroad [Tehnika i tehnologiya izvlecheniya zolota iz rud zarubezhom]. Moscow. Metallurgy. 1973. P. 288 (In Russian)
- [21] Evdokimov A.V. Investigation of the intensive cyanidation process of gold-containing gravity concentrates [Issledovanie processa intensivnogo cianirovaniya zolotosoderzhashhih gravitatsionnykh koncentratov]. Dissertation. Irkutsk. Russia. 2012. P. 9-20 (In Russian)
- [22] Zaharov B.A., Meretukov M.A. Gold: resistant ores [Zoloto: uporny rudy]. Moscow. Rudai Metally. 2008. P. 296-300. ISBN: 978-5-98191-068-5 (In Russian)
- [23] Ancia, P. H., Frenay, J., Dandois, P. H., 1997. Comparison of the Knelson and Falcon centrifugal separators. In: Richard M. Mozley International Symposium (in Eng.)
- [24] Longley R., McCallum A., Katsikaris N. Intensive cyanidation: onsite application of the InLine Leach Reactor to gravity gold concentrates. Minerals Engineering. 2003. V. 16. P. 411-419. DOI: 10.1016/S0892-6875(03)00054-2 (in Eng.)
- [25] Campbell J. & Watson B. Gravity Leaching with the ConSep ACACIA – Results from AngloGold Union Reefs. Eighth Mill Operators Conference, 21-23 July. 2003. (in Eng.)
- [26] Laplante A., Staunton W. // Pros. 5th Int. Symp.: Hydrometallurgy 2003 / Vancouver, Canada. 2003. August 24-27. V. 1. P. 65-74 (in Eng.)
- [27] Davidson, J. D., Brown, G. A., Schmidt, C. G., Hanf, N. W., Duncanson, D., Taylor, J. D. The intensive cyanidation of gold-plant gravity concentrates. Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy. Vol. 78. 1978. P. 146-165 (in Eng.)
- [28] Dewhurst R.F., Moulton S.P., Coetzee J.A. Intensive cyanidation for the recovery of coarse gold. Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy. Vol. 84. 1984. P. 159-163 (in Eng.)
- [29] Car'kov V.A. Experience of gold extracting enterprises in the world [Opyt raboty zolotoizvlekatel'nykh predpriyatij mira]. Moscow. Rudai Metally. 2004. P. 18-75. ISBN: 5-98191-006-2 (In Russian)
- [30] Gravity leaching the Acacia reactor. <http://knelsongravity.xplorex.com/sites/knelsongravity/files/reports/report36s.pdf>

- [31] Meretukov M.A. Development of intensive cyanidation of gold-containing gravity concentrates [Razvitie processa intensivnogo cianirovaniyazolotosoderzhashhihgravitacionnykhkoncentratov]. Non-ferrous metals.2005. №2. P. 39-42. ISSN: 0372-2929.(In Russian)
- [32] Ling P., Papangelakis V.G., Argyropoulos S.A. et al. An Improved Rate Equation for Cyanidation of a Gold Ore // Canadian Metallurgical Quarterly. 1996. Vol. 35. N. 3. P. 7 (in Eng.)
- [33]Kondos P.D., Deschenes G., Morrison R.M. Process Optimization Studies in Gold Cyanidation // Hydrometallurgy. 1995. V. 39. P. 235-250 (in Eng.)
- [34] de Andrade Lima, L.R.P., Hodouin D. A Lumped Kinetic Model for Gold Ore Cyanidation // Hydrometallurg. 2005. V. 79 (in Eng.)
- [35] Turysbekova G.S., Meretukov M.A., Bektaj E.K. Gold: Innovations in Chemistry and Metallurgy [Zoloto: innovacii v himiimetallurgii]. Almaty. 2015. P. 117. ISBN:978-601-228-838-4 (In Russian)
- [36]Karimi P. et al. // Int. J.Miner.Proc. 2010. V. 95. P. 68-77(in Eng.)
- [37]InLine Leach Reactor.<http://www.gekkos.com/equipment/inline-leach-reactor>
- [38] AltynalmasAKJSC. Investment memorandum.Amaty. 2015. [http://www.kase.kz/files/emitters/ALMS/almsf7\\_2015.pdf](http://www.kase.kz/files/emitters/ALMS/almsf7_2015.pdf)

**Б. Н. Суримбаев<sup>1,2</sup>, А. О. Байконурова<sup>1</sup>, Л. С. Болотова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан,  
<sup>2</sup>Филиал РГП «НЦ КПМС РК» Государственное научно-производственное объединение промышленной экологии «Казмеханобр», Алматы, Казахстан

### **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССА ИНТЕНСИВНОГО ЦИАНИРОВАНИЯ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ ПРОДУКТОВ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН**

**Аннотация.** Приведены данные по сырьевой базе золотодобывающей промышленности Казахстана, а также роль Казахстана по добыче золота в мире и странах СНГ. Показана история и развитие процесса интенсивного цианирования золотосодержащих продуктов в мировой практике. Показана перспективность использования данного метода в Республике Казахстан. Даны технологические схемы интенсивного цианирования в зависимости от вещественного состава сырья.

**Ключевые слова:** интенсивное цианирование, гравитационное обогащение, центробежный концентратор, Акация, Гекко, цианирование, добыча золота.

**Б. Н. Сүрімбаев<sup>1,2</sup>, Ә. Ә. Байқоңырова<sup>1</sup>, Л. С. Болотова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>К. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан,  
<sup>2</sup>«ҚР МШКҚӨҰО» РМК Мемлекеттік өнеркәсіптік экология ғылыми-өндірістік бірлестігі филиалы «Казмеханобр», Алматы, Қазақстан

### **ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНДАҒЫ АЛТЫНҚҰРАМДЫ ӨНІМДЕРДІ ҚАРҚЫНДЫ ЦИАНИРЛЕУ ҮРДІСІНІҢ ДАМУЫНЫҢ БОЛАШАҒЫ**

**Аннотация.** Мақалада Қазақстанда алтын өндіру өнеркәсіп шикізат негізінің көрсеткіштері, сонымен қатар әлемдегі және ТМД елдері арасындағы алтын өндірісі бойынша Қазақстанның рөлі көрсетілген. Әлемдік тәжірибедегі алтынқұрамды өнімдердің қарқынды цианирлеу процесінің тарихы және дамуы көрсетілген. Аталған әдістің Қазақстан Республикасындағы қолдану болашағы көрсетілген. Шикізаттың заттай құрамына тәуелді қарқынды цианирлеу үрдісінің технологиялық схемалары сипатталған.

**Түйін сөздер:** қарқынды цианирлеу, гравитациялық байыту, ортадан тепкіш концентратор, Акация, Гекко, цианирлеу, алтын өндірісі.

#### **Information about authors:**

Surimbayev Bauyrzhan Nurzhanovich – PhD student, Kazakh National Research Technical University after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan; Research scientist, laboratory of noble metals, The Branch of the RSE «NC CPMS RK» State scientific-industrial association of industrial ecology "Kazmekhanobr", Almaty, Kazakhstan, [surimbaev@gmail.com](mailto:surimbaev@gmail.com)

Baikonurova Aliya Omirkhanovna – Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazakh National Research Technical University after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan, [a.baikonurova@yandex.kz](mailto:a.baikonurova@yandex.kz)

Bolotova Lyudmila Sergeevna – Candidate of Chemical Sciences, Head of the laboratory of noble metals, The Branch of the RSE «NC CPMS RK» State scientific-industrial association of industrial ecology "Kazmekhanobr", Almaty, Kazakhstan, [L\\_bolotova@yahoo.com](mailto:L_bolotova@yahoo.com)

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 4, Number 424 (2017), 142 – 147

UDC621.436.038

**B. N. Azamatov<sup>1</sup>, K. A. Ozhikenov<sup>2</sup>, Zh. K. Azamatova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>East Kazakhstan state technical university, named after D. Serikbaev, Ust'-Kamenogorsk, Kazakhstan,

<sup>2</sup>Kazakh national research technical university named after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: Azamatovy@mail.ru, kas\_ozhiken@mail.ru, Zhanerkeaz@mail.ru

## ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF PALLADIUM IN CATALYTIC SHS-UNITS FOR DIESEL ENGINES

**Abstract.** This paper considers the questions of the purification of exhaust gases of diesel engines from nitrogen oxides, carbon monoxide CO, hydrocarbons CxHy and particulate matter PM, on the catalysts of the porous permeable materials produced by SHS synthesis.

Experimental study on the determination of the effectiveness of catalytic conversion of exhaust gases on the SHS-materials was carried out under the following conditions: the identity of the average diameter, pore size, porosity and pore tortuosity. This was achieved by the fact that the basic structure of the charge contained: alloy steel - 47.5%; chromium oxide - 18%; chromium - 5%; nickel - 4.9%; aluminum - 12%; titanium - 11.5 ... 11.6% and up to 1% by weight of various catalysts.

A comparison of the effectiveness of gas cleaning from particulate matter in the porous SHS-units based on Fe-Al with the same characteristics resulted in quality improvement up to 18-20% using palladium Pd as a part of the material.

Next, the procedure aimed in the assessment of the hazardous diesel emissions on such indicators as  $q_{as\ NOx}$ ,  $q_{as\ CO}$ ,  $q_{as\ CH_4}$ ,  $q_{as\ PM}$ , the results of which are summarized in Table 1. Here, the estimation of anthropogenic impact values for the same conditions in the case of EURO 4 and EURO 5 emission standards, actual emissions without gas neutralization, and actual emissions with gas neutralization in the presence of porous permeable SHS-units containing palladium Pd.

**Keywords:** catalyst, self-propagating high temperature synthesis (SHS), exhaust gases.

**Introduction.** The use of palladium Pd in the systems of exhaust gas cleaning at the plants and in the internal combustion engines has been sufficiently studied by researchers. However, the effectiveness of Pd in the composition of the materials obtained by SHS-technology was never investigated. This can be explained both by the high cost of Pd on world markets and a decrease in production volume observed in the world. At the same time, the use of Pd as part of SHS-materials for catalyst units of the catalytic converters for exhaust gas is of interest due to covering a wide range of effective cleaning of the gases from 450 ... 550K to 825 ... 850K with simultaneously cleaning from nitrogen oxides NOx, carbon monoxide CO, hydrocarbons CxHy.

Development of new materials for catalytic converters is connected primarily to the fact that there is a significant deterioration of the catalysts in the process of cleaning gases from the surfaces of the carriers. This is especially true for the materials on the surface of which the catalysts are covered by electrolytic deposition and impregnation, followed by drying [1].

Using of advanced SHS-technology provides durable catalysts resistant to the entrainment of gas supplies (Figure 1).

**Research methodology.** Experimental studies were carried out on the engine of KaMAZ-740 (8Ch 12/12). Recording the external high-speed characteristics were made in speed range of 1400...2600 min<sup>-1</sup>, and the load characteristics at 2600 min<sup>-1</sup> with a pilot plant to assess the effectiveness of treatment of the exhaust gas of diesel engine in porous permeable SHS-catalyst block with all the measurements provided by GOST 14846-81 [2], GOST R 41.49-99 [3], GOST R 41.24-99 [4], GOST R 41.83-99 [5] while working with L-0.2-40 fuel according to GOST 305-82 [5].

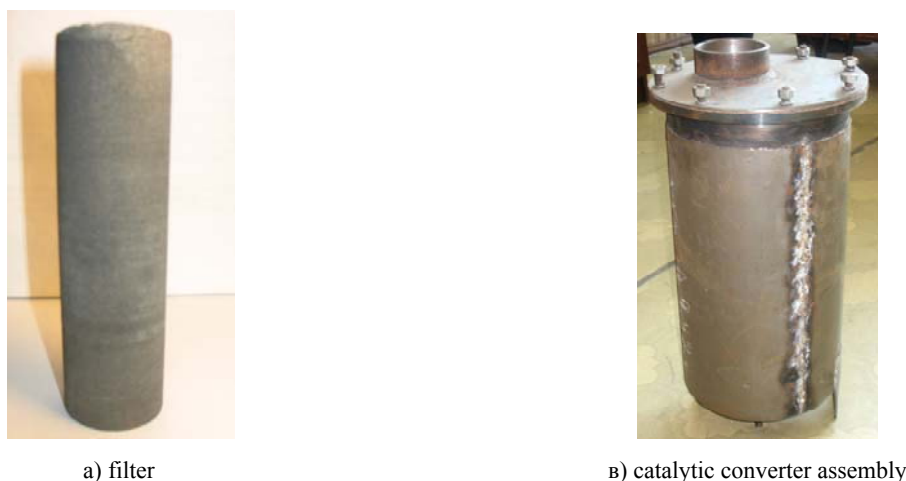


Figure 1 – The design of the filter

The duration of the measurement of fuel consumption was not less than 30 seconds. The measurements of opacity, toxicity, temperature and pressure of the exhaust gas were made at least six times for each of the modes using similar devices through the distribution column.

The test program included characterization of diesel engines by test cycle of 13-modes for determining the valuation of specific emissions of nitrogen oxides NO<sub>x</sub>, carbon monoxide CO, hydrocarbons C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> and particulate matter PM. This article describes the tests only on nitrogen oxides NO<sub>x</sub> emissions.

Emissions of harmful substances along with exhaust gases were determined in accordance with GOST R 41.83-99. Exhaust gas opacity and particulate matter emissions were determined in accordance with GOST R 41.24-99.

At the beginning and at the end of the test program, external speed and load test characteristics were determined, as well as specifications for the 13-mode test cycle.

Experimental study on the determination of the effectiveness of catalytic conversion of exhaust gases on the SHS-materials was carried out under the following conditions: the identity of the average diameter, pore size, porosity and pore tortuosity. This was achieved by the fact that the basic structure of the charge contained: alloy steel - 47.5%; chromium oxide - 18%; chromium - 5%; nickel - 4.9%; aluminum - 12%; titanium - 11.5 ... 11.6% and up to 1% by weight of various catalysts.

The study was conducted in a pilot plant with 8Ch12/12 diesel in the test-bench, equipped in accordance with GOST 21393-75 and GOST 41.49-99 on the fuel according to GOST 308-82 L-0,2-40, MTM-16p oil.

Tests were carried out on the loading characteristics at 2600 min<sup>-1</sup> and the outside speed at 1400 ... 2600 min<sup>-1</sup> at ambient temperature  $T_0 = 300 \dots 303\text{K}$ , atmospheric pressure  $P_0 = 749\text{-}752$  mm of Hg col., humidity  $W_0 = 72 \dots 79\%$ .

The porosity of the SHS-materials of catalytic units was  $P = 0.47 \dots 0.49$ ; pore tortuosity  $\xi_i = 1.38 \dots 1.40$ ; the volume of the porous mass was  $2.13 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ ; relative area of filter surface for the nominal power regime  $F_{fm} = 1.64 \times 10^{-4} (\text{m/h})^2$ .

The pilot plant with SHS-catalytic converter was mounted back to back with one of the exhaust manifold of a diesel engine, so there is no need to preheat the exhaust gases on the load conditions above 50%, where there are higher levels of emissions.

**Results.** Comparative tests showed that on the catalytic SHS-materials with palladium Pd content of about 0.3% by weight at the loading characteristic at 2600 min<sup>-1</sup> for effective pressure values of 0,35..0,55..0,78MPa emissions of nitrogen oxides NO<sub>x</sub> in the exhaust gases are reduced to 15..60..65% respectively (Figure 2).

Low NO<sub>x</sub> removal efficiency at low load conditions can be explained by the fact that the exhaust gas temperature of 790K, corresponding to the active influence of Pd catalyst on the process of nitrogen oxides reduction, is shown starting from the values of the average effective pressure  $P_e = 0.52 \text{ MPa}$  (Figure 2). Hereinafter:  $C_{\text{NO}_x}$ ,  $C_{\text{CO}}$ ,  $C_{\text{C}_x\text{H}_y}$ ,  $C_{\text{PM}}$  – content of nitrogen oxides, carbon monoxide, hydrocarbons,

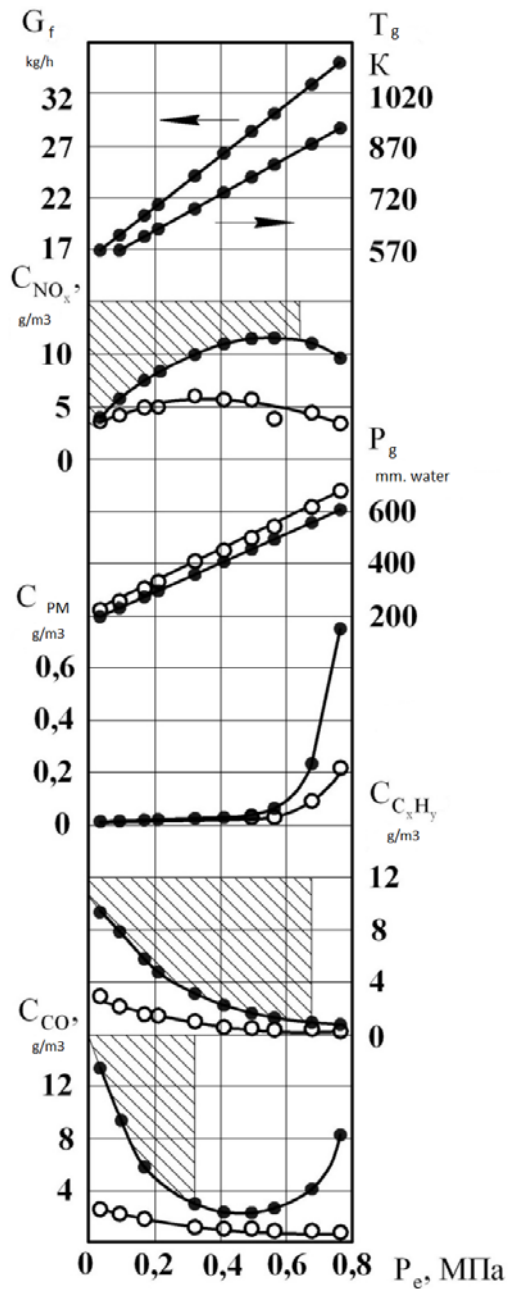


Figure 2 – The effectiveness of cleaning of the exhaust gas of the 8Ch 12/12 diesel engine in SHS-units of the catalyst with the addition of palladium Pd on the loading characteristic at  $2600 \text{ min}^{-1}$ , where ●● - without CN; ○○ - with CN

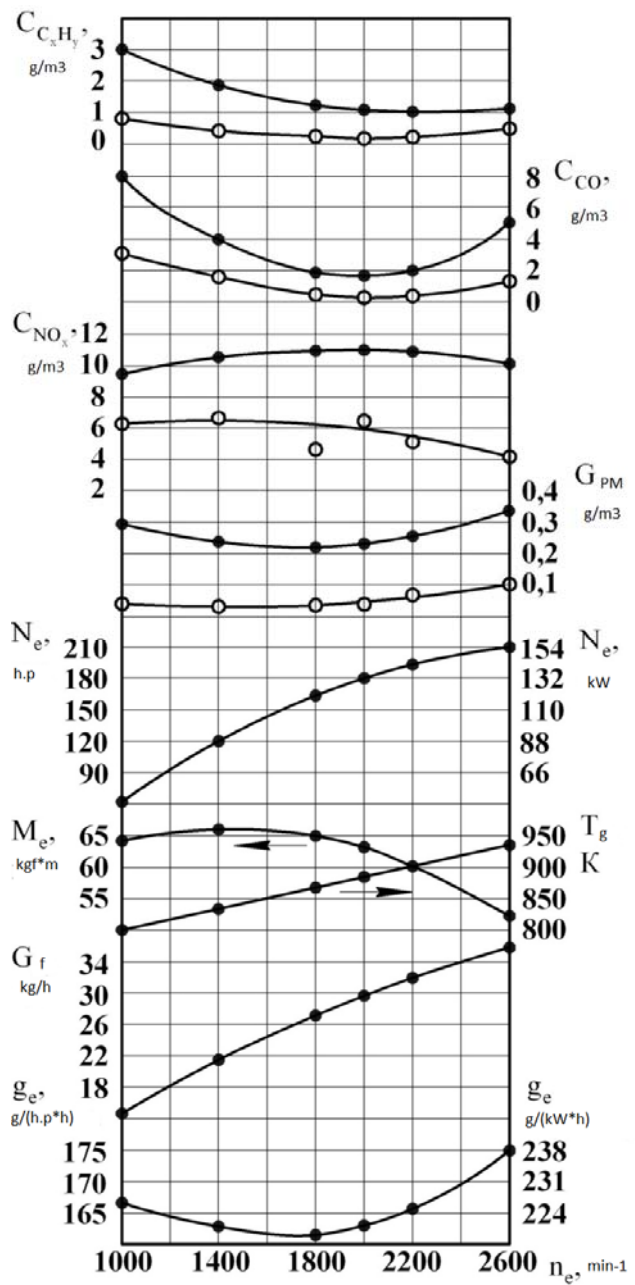


Figure 3 – The effectiveness of cleaning of the exhaust gas of the 8Ch 12/12 diesel engine in SHS-units of the catalyst with the addition of palladium Pd on the loading characteristic, where ●● - without CN; ○○ - with CN

particulate matter, respectively, in the exhaust gases,  $\text{g/m}^3$ ;  $\alpha$  - coefficient of air excess;  $T_g$  - exhaust gas temperature, K;  $G_a$  - air flow rate, kg/h;  $G_f$  - fuel flow rate, kg/h;  $g_e$  - specific effective fuel flow rate,  $\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ .

For values of average effective pressure of 0.35 ... 0.55 ... 0.78MPa in the cylinders of diesel emissions of carbon monoxide CO are reduced at the loading characteristic, respectively, to 75 ... 86 ... 92%. Active influence of the Pd catalyst on the processes of CO oxidation begins at the exhaust gas temperature of 520K, and this temperature corresponds to the average effective pressure  $P_e = 0,10\text{MPa}$ .



At the above mentioned values of average effective pressure at 2600 min<sup>-1</sup> emissions of hydrocarbons C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> (total) with the exhaust are reduced to 50 ... 84 ... 83%, respectively. The high efficiency of the exhaust gas purification from the C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> is because the palladium Pd affects the final oxidation processes of hydrocarbons, starting with the temperature of 450 K, corresponding to the specific effective pressure  $P_e = 0,4\text{MPa}$ .

Tests carried out on the outside speed at 1400 ... 2600 min<sup>-1</sup> showed that the efficiency of the Pd catalyst in the reduction of NO<sub>x</sub> emissions with the exhaust gases at diesel engine speed of  $n = 1400 \dots 1800 \dots 2200 \dots 2600 \text{ min}^{-1}$  was respectively 65 ... 58 ... 50 ... 46%. High efficiency of gas cleaning from NO<sub>x</sub> is because the exhaust gas temperatures are respectively 820 ... 855 ... 890 ... 920K.

The efficiency of the Pd catalyst in the reduction of carbon monoxide CO emissions at the outside speed of  $n = 1400 \dots 1800 \dots 2200 \dots 2600 \text{ min}^{-1}$  was 95 ... 92 ... 91 ... 86%, respectively. Despite the fact that the range of active influence of Pd on oxidation of the nitrogen lies in the range of 520 ... 820K and the gas temperature at the outside speed varies within 820 ... 920K, the catalyst continues to effect the oxidation processes.

The effectiveness of the catalyst for the reduction of hydrocarbon emissions at the outside speed of  $n = 1400 \dots 1800 \dots 2200 \dots 2600 \text{ min}^{-1}$  is characterized as 84 ... 94 ... 96 ... 91%, respectively. The temperature range of the highest performance of Pd catalyst varies from 450 to 850K, and the purification efficiency reaches 92%.

Considering the results of reducing particulate matter emissions from the exhaust gases, it should be noted that, in principle, all considered porous permeable catalytic materials having the same porosity, permeability, pore tortuosity, wall thickness and the relative area of the filter surface under the same conditions of the diesel engine should also have the same efficiency of gas cleaning from particulate matter.

However, it was found that the efficiency of purification of exhaust gases using various catalysts differs from each other. This can be explained mainly by the fact that in the presence of some catalysts diesel soot ignition temperature decreases and it burns more complete at the porous permeable surfaces of the converters or particulate filter units.

The efficiency of Pd catalyst on the reduction of the particulate matter emissions at the loading characteristic at  $P_e = 0,35 \dots 0,55 \dots 0,78\text{MPa}$  and 1900 min<sup>-1</sup> is 50 ... 88 ... 84%, respectively (Figure 1), at the outside speed of  $n = 1400 \dots 1800 \dots 2200 \dots 2600 \text{ min}^{-1}$  is 91 ... 87 ... 80 ... 83%, respectively (Figure3).

A comparison of the effectiveness of gas cleaning from particulate matter in the porous SHS-units based on Fe-Al with the same characteristics resulted in quality improvement up to 18-20% using palladium Pd as a part of the material.

Next, the procedure aimed in the assessment of the hazardous diesel emissions on such indicators as  $q_{\text{as NO}_x}$ ,  $q_{\text{as CO}}$ ,  $q_{\text{as CH}}$ ,  $q_{\text{as PM}}$ , the results of which are summarized in Table. Here, the estimation of

Effectiveness of SHS-catalyst units containing palladium Pd on anthropogenic impacts on the environment posed by harmful emissions of 8Ch12/12 diesel

Estimated specific indicators of harmful emissions	The values of assessment indicators and technogenic impact					Exceeding of anthropogenic impact for EURO-3 EURO-4 EURO-5
	Emission levels, g/(kW·h)		The values of the technogenic impact, sf/(km <sup>2</sup> ·year)			
	Requirements of EURO-4 EURO-5	Actual without CN with CN	without CN	with CN containing Pd	meeting the requirements of EURO-3 EURO-4 EURO-5	
$q_{\text{as NO}_x}$	3.50 2.00	8.86 2.64	0.242	0.071	0.135 0.094 0.054	0.526 0.755 1.315
$q_{\text{as CO}}$	1.50 1.50	4.93 1.69				
$q_{\text{as CH}}$	0.46 0.25	1.23 0.33				
$q_{\text{as TЧ}}$	0.02 0.02	0.40 0.04				

anthropogenic impact values for the same conditions in the case of EURO 4 and EURO 5 emission standards, actual emissions without gas neutralization, and actual emissions with gas neutralization in the presence of porous permeable SHS-units containing palladium Pd.

For all estimates of anthropogenic impact generated by 8Ch12/12 diesel on the environment, the same conditions were used:

- height of the discharge pipe from the level of the road surface,  $h_T = 1.00$  m;
- dilution ratio on the surface layer,  $\pi_d = 2.00$ ;
- average wind speed at a calm, 2.5 m/s;
- average wind speed in the calculations,  $v = 10$  m/s;
- exhaust gas scattering coefficient,  $R_p = 88$ ;
- an indicator of the relative dangers of air pollution, characterizing terrain and macroroughnesses, used for urban areas,  $\sigma_{apd} = 1.0$ ;
- natural and climatic conditions coefficient,  $d_{NCC} = 2.00$ .

When the Euro-3, Euro-4 and Euro-5 standards are maintained, the share of individual exhaust gas components accounted in the values of the anthropogenic impact coefficient is, respectively, for nitrogen oxides - 97.17 ... 97.5 ... 97.12%; for carbon monoxide - 0.43 ... 0.44 ... 0.76%; for hydrocarbons - 1.68 ... 1.85 ... 1.75%; for particulate matter - 0.72 ... 0.21 ... 0.36%.

**Conclusion.** Analysis of the data indicates that when using Pd as a catalyst in the composition of SHS-material, it can be noted that the diesel engine meets the standards of EURO-3 and EURO-4 on the integrated indicator of technological load. Achieving the EURO-4 standards on the level of technogenic impact can be reached by both the improvement of work processes of a diesel engine and catalytic converter by selection of the catalysts.

This makes it possible to reduce significantly the technogenic impacts on the environment posed by diesel.

#### REFERENCES

- [1] Wieleba Wojciech, Capanidis Dymitry, Woźniak Janusz: Patent. Polska, nr 210216. Sposób wytwarzania materiału na elementy ślizgowymaszyn materiałowe elementy ślizgowymaszyn: Opubl. 30.12.2011 / Politechnika Wroclawska, Wroclaw.
- [2] GOST 14846-81. Automobile engines. Methods of bench tests.
- [3] GOST R 41.49-99. Uniform provisions concerning the approval of compression ignition (C.I.) and natural gas (N.G.) engines as well as positive-ignition (P.I.) engines fuelled with liquefied petroleum gas (LPG) and vehicles equipped with C.I. and N.G. engines and P.I. engines fuels with LPG, with regard to the emissions of pollutants by the engine.
- [4] GOST R 41.24-99. Uniform provisions concerning: I. The approval of compression ignition (C.I.) engines with regard to the emission of visible pollutants II. The approval of motor vehicles with regard to the installation of C.I. engines of an approved type III. The approval of motor vehicles equipped with C.I. engines with regard to the emission of visible pollutants by the engine IV. The measurement of power of C.I. engine.
- [5] GOST R 41.83-99. Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to the emission of pollutants according to engine fuel requirements.
- [6] GOST 305-82. Diesel fuel. Specifications.
- [7] Wieleba Wojciech, Capanidis Dymitry, Ziemiański Kazimierz: Polimerowe łożyska ślizgowe z tworzyw termoplastycznych: Cz. 1. Materiały ślizgowe / W: Poradnik tribologii i tribotechniki. s. 125-131.
- [8] Surashev N., Yelemes D., Dudkin M., Kalieva A. The Planetary Vibroexciter with Elliptic Inner Race. Advanced Materials Research Vols. 694-697 (2013)
- [9] Melbert A.A. Operating temperatures of catalysts for purification of exhaust gases of diesel engines / A.A. Melbert, Y.G. Maksimeyko, G.V. Medvedev, B.F. Bekbayev // Polzunov almanac. 2009 - 1, #3. - P. 127-132.

**Б. Н. Азаматов<sup>1</sup>, Қ. А. Ожикенев<sup>2</sup>, Ж. Қ. Азаматова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Д. Серікбаев атындағы Шығыс-Қазақстан мемлекеттік техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан,

<sup>2</sup>Қ. И. Сәтбаев атындағы қазақ ұлттық техникалық зерттеу университет, Алматы, Қазақстан

#### **ДИЗЕЛЬДІ ҚОЗҒАЛТҚЫШТАР ҮШІН КАТАЛИТИКАЛЫҚ СВС-БЛОКТАРДА ПАЛЛАДИЙДІ ҚОЛДАНУДЫҢ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ**

**Аннотация.** Осы жұмыста дизельді қозғалтқыштардың қалдық газдарын ӨЖС (өздігінен таралатын жоғары температуралық синтез) синтезбен кеуек өткізгіш материалдардан жасалған катализаторларда азот оксидтерінен, көміртек монооксидтерінен СО, көмірсутектілерден СхНужәне катты бөлшектерден тазарту сұрақтары қарастырылған.

СВС- материалдар негізінде қалдық газдарды каталикалық тазарту тиімділігін анықтау эксперименттік зерттеулер келесі шарттарды орындаумен өткізілді: орта диаметрлер біркелкі, тесіктердің өлшемдері бір, тесіктердің кеуектілігі мен иректілігі бір. Оған себеп болған шихтаның негізгі құрамы: легіріленген болат - 47,5%; хром оксиді- 18%; хром - 5%, никель - 4,9%; алюминий - 12%; титан - 11,5...11,6% ден 1% дейін - әртүрлі катализаторлардың салмағы бойынша.

Кеуекті СВС – блоктарда Fe-Al негізінде газдарды қатты бөлшектерден тазарту тиімділігін Pd палладий материалын қолданумен салыстырғанда 18-20% тазарту сапасы артады.

Ары қарай әдіс бойынша келесі көрсеткіштер бойынша дизельдің зиянды шығындысы бағаланды:  $q_{\text{оц NOx}}$ ,  $q_{\text{оц CO}}$ ,  $q_{\text{оц CH}_4}$ ,  $q_{\text{оц ТЧ}}$ . Нәтижелер 1 кестеде көрсетілген. Осында бірінғай жағдайда ЕВРО-4 және ЕВРО-5 шығындар нормасын орындау жағдайлары бағаланған. Бағалау кезінде нақты шығындар газдарды залалсыздандырусыз және нақты шығындар газдарды Pd палладий элементі бар кеуек өткізгін СВС- блоктарда залалсыздандырумен өткізілді.

**Түйін сөздер:** катализатор, өздігінен таралатын жоғары температуралық синтез (ӨЖС), қалдық газдар.

**Б. Н. Азаматов<sup>1</sup>, К. А. Ожикенев<sup>2</sup>, Ж. К. Азаматова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
Усть-Каменогорск, Казахстан

<sup>2</sup> Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева,  
Алматы, Казахстан

### **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАЛЛАДИЯ В КАТАЛИТИЧЕСКИХ СВС-БЛОКАХ ДЛЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

**Аннотация.** В настоящей работе рассматриваются вопросы очистки выхлопных газов дизельных двигателей от оксидов азота, монооксида углерода CO, углеводородов CxHy и твердых частиц ТЧ в катализаторах из пористых проницаемых материалов, полученных СВС синтезом.

Экспериментальное исследование по определению эффективности каталитической нейтрализации отработавших газов на СВС-материалах было проведено с соблюдением следующих условий: идентичности средних диаметров, размеров пор, пористости и извилистости пор. Это достигалось тем, что базовый состав шихты содержал: легированной стали - 47,5%; оксида хрома - 18%; хрома - 5%; никеля - 4,9%; алюминия - 12%; титана - 11,5...11,6% и до 1% по массе различных катализаторов.

В результате сравнения эффективности очистки газов от твердых частиц в пористых СВС-блоках на основе Fe-Al с теми же характеристиками установлено повышение качества на 18-20 % при использовании в составе материала палладия Pd.

Далее по методике была проведена оценка вредных выбросов дизеля по показателям  $q_{\text{оц NOx}}$ ,  $q_{\text{оц CO}}$ ,  $q_{\text{оц CH}_4}$ ,  $q_{\text{оц ТЧ}}$ , результаты которой сведены в таблицу. Здесь же выполнена оценка величин техногенной нагрузки для одинаковых условий в случаях выполнения норм выбросов ЕВРО-4 и ЕВРО-5, действительных выбросов без нейтрализации газов и действительных выбросов с нейтрализацией газов с присутствием в пористых проницаемых СВС-блоках палладия Pd.

**Ключевые слова:** катализатор, самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС), выхлопные газы.

#### **Сведения об авторах:**

Азаматов Багдат Нурланович – докторант кафедры «Приборостроение и автоматизация технологических процессов» Восточно-Казахстанского государственного технического университета имени Д. Серикбаева, Казахстан, специальность 6D070200 – Автоматизация и управление, e-mail: Azamatovy@mail.ru

Ожикенов Касымбек Адильбекович – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Робототехника и технические средства автоматики» Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева, Казахстан, e-mail: kas\_ozhiken@mail.ru, ozhikenovk@gmail.com

Азаматова Жанерке Кыдырбековна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Приборостроение и автоматизация технологических процессов» Восточно-Казахстанского государственного технического университета имени Д. Серикбаева, Казахстан, e-mail: Zhanerkeaz@mail.ru

**NEWS**

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES**

ISSN 2224-5278

Volume 4, Number 424 (2017), 148 – 169

UDC 625.7/8:691.16

**B. B. Teltayev**

Kazakhstan Highway Research Institute, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: bagdatbt@yahoo.com

**FATIGUE DESTRUCTION OF ASPHALT CONCRETE PAVEMENT.  
2. THERMODYNAMICS**

**Abstract.** In this paper the fatigue destruction regularity of asphalt concrete pavement, determined before, has been proved by observance of the identified criteria for thermodynamics of irreversible processes – universal Glensdorf-Prigozhin criterion and principle of minimum for production of the entropy of Yu.L. Klimontovich. Values of production of the entropy under impact of vehicle load of various volumes have been calculated from values of stresses and strains in asphalt concrete pavement of the highway. Stresses and strains have been determined with the use of solution of A.K. Privarnikov for multilayer elastic half-space, on the surface of which the vertical static load has been applied and uniformly distributed along the area of a circle. To calculate the stresses and strains the five-layer pavement structure has been taken, which included two asphalt concrete layers.

**Key words:** asphalt concrete pavement, fatigue destruction, production of the entropy, Glensdorf-Prigozhin criterion, Klimontovich principle.

**1. Introduction.** Principle of staging of fatigue destruction for the asphalt concrete pavement was formulated in the author's work [1], devoted to the analysis of the fatigue destruction of the asphalt concrete pavement for the highway, based on actual materials, obtained on the sections of the operational highways. Then, similar to the known phenomena of self-organization in thermodynamics of irreversible processes and dynamics of non-linear systems (synergetics) – Bernar's effect and division of biological cell, it was suggested to consider the parts of asphalt concrete pavement as the specific dissipative structures, occurred in critical conditions, and a new regularity was formulated for the staging fatigue destruction of the asphalt concrete pavement. This regularity was explained based on the newly proposed scheme of bifurcation with the use of the results for experimental determination of the single, cyclic, long-time and residual strength of the asphalt concrete.

In this paper the determined regularity of staging fatigue destruction of the asphalt concrete pavement has been proved by observance of the criteria for thermodynamics of irreversible processes namely by universal Glensdorf-Prigozhin criterion and Klimontovich principle.

**2. Stress and strain behavior.**

**2.1. Pavement structure.** To perform calculation of the stresses and strains, occurring under impact of the estimated vehicle load with further determination of strain and dissipation energies the following pavement structure has been adopted, which is one of the most typical for the highways of high technical categories in Kazakhstan:

1<sup>st</sup> layer: fine-grained dense asphalt concrete, thickness  $h_1 = 5$  cm;

2<sup>nd</sup> layer: coarse-grained porous asphalt concrete,  $h_2 = 10$  cm;

3<sup>rd</sup> layer: crushed stone and sand mix, treated with cement (8%) in the plant,  $h_3 = 20$  cm;

4<sup>th</sup> layer: crushed and stone mix (6-40 mm),  $h_4 = 20$  cm;

5<sup>th</sup> layer: natural gravel and sand mix,  $h_5 = 25$  cm.

Soil of subgrade is light dusty clay loam.

It is supposed that bitumen of grade BND 100-130, produced by Pavlodar Petrochemical Plant, will be used for preparation of the asphalt concretes.

**2.2. Deformation characteristics of materials and soil.** Asphalt concrete is a visco-elastic material [2-4] and its strain characteristics depend on the temperature and load duration. In this paper the elasticity modulus of fine-grained dense and coarse-grained porous asphalt concretes were calculated under the modified Hirsh formula, proposed in the paper [5]:

$$E_{ac}(t) = P_c(t) \cdot [E_{ag} \cdot (1 - VMA) + E_b(t) \cdot VFA \cdot VMA], \quad (1)$$

$$P_c(t) = 0,006 + \frac{0,994}{1 + \exp \left[ - \left( 0,6628 + 0,5861 \cdot \ln \left( VFA \cdot \frac{E_b(t)}{3} \right) \right) - 12,87 \cdot VMA - 0,1706 \cdot \ln(\varepsilon \cdot 10^6) \right]}, \quad (2)$$

where  $E_{ac}(t)$  is the elasticity modulus of asphalt concrete at the time moment  $t$ ;  $E_b(t)$  is the elasticity modulus of bitumen at the time moment  $t$ ;  $E_{ag}$  is the elasticity modulus of stone aggregate, adopted equal to 26 540 MPa;  $VMA$  are voids of mineral material (as a decimal fraction);  $VFA$  is a share of inter-grain voids, filled with binder (as a decimal fraction);  $\varepsilon$  is a level of strain, adopted equal to  $100 \cdot 10^{-6}$  for the mean temperature.

Elasticity modulus of bitumen  $E_b(t)$  is calculated under the formula [6, 7]:

$$E_b(t) = Eg \left[ 1 + \left( \frac{Eg \cdot t}{3 \cdot \eta} \right)^b \right]^{-\left(1 + \frac{1}{b}\right)}, \quad (3)$$

where  $Eg$  is an instantaneous elasticity modulus of bitumen, adopted equal to 2 460 MPa;  $\eta$  is a coefficient of viscosity for bitumen, MPa·s.

Coefficient of viscosity  $\eta$  is determined under the equations:

$$\begin{cases} \eta = a_{TrAhr}(T) \cdot \eta(T_r) & T \leq T_{rb} - 10; \\ \eta = a_{TrWLF}(T) \cdot \eta(T_r) & T > T_{rb} - 10, \end{cases} \quad (4)$$

$$\eta(T_r) = 0,00124 \left[ 1 + 71 \cdot \exp \left[ - \frac{12(20 - PI)}{5(10 + PI)} \right] \right] \cdot \exp \left( \frac{0,2011}{0,11 + 0,0077 PI} \right), \quad (5)$$

$$a_{TrAhr}(T) = \exp \left[ 11720 \cdot \frac{3(30 + PI)}{5(10 + PI)} \left[ \frac{1}{(T + 273)} - \frac{1}{(T_{rb} + 263)} \right] \right], \quad (6)$$

$$a_{TrWLF}(T) = \exp \left[ - \frac{2,303(T - T_{rb} + 10)}{(0,11 + 0,0077 PI)(114,5 + T - T_{rb})} \right]. \quad (7)$$

where  $PI$  and  $T_{rb}$  are penetration index and softening point of bitumen.

Parameter  $b$  is calculated under the equation:

$$b = \frac{1}{\frac{1}{\beta} + \frac{\ln(\pi)}{\ln(2)} - 2}, \quad (8)$$

$$\beta = \frac{0,1794}{1 + 0,2084 PI - 0,00524 PI^2}. \quad (9)$$

Values of Poisson's coefficient for asphalt concretes are determined under the formula, recommended by the Guide [8]:

$$\nu = 0,15 + \frac{0,35}{1 + \exp(-1,63 + 3,84 \cdot 10^{-6} \cdot E_{ac}(t))}, \quad (10)$$

where  $\nu$  is Poisson's coefficient of asphalt concrete;  $E_{ac}(t)$  is elasticity modulus of asphalt concrete.

Due to the necessity of dissipation energy calculation in the asphalt concrete layer of pavement at the initial operational period and during the period of fatigue destruction occurrence, the values of elasticity moduli of the asphalt concrete were determined in their two conditions – after short-term (RTFOT) and long-term (RTFOT+PAV) aging of bitumen and at duration of load impact  $t = 0$  s (instantaneous strain) and  $t = 0.1$  s. Calculated values of the elasticity moduli and Poisson's coefficients of the asphalt concretes are shown in the Table 1. In addition, at present for many countries of the world, including European ones, it is adopted that fatigue of the asphalt concrete occurs at moment when its stiffness (elasticity modulus) reduces two times from the initial one [9]. For the dense and porous asphalt concretes, which we adopted, such values of the elasticity moduli at the duration of load impact  $t = 0.1$  s are equal to 3467 MPa and 2071 MPa respectively, and the values of Poisson's coefficients are equal to 0.30 and 0.37 respectively.

Table 1 – Values of elasticity modulus (E) and Poisson's coefficients ( $\nu$ ) for asphalt concretes

Aging of bitumen	Duration of load impact t, s	Asphalt concrete			
		Fine-grained dense		Coarse-grained porous	
		E, MPa	$\nu$	E, MPa	$\nu$
RTFOT	0	19 810	0.15	16 870	0.15
	0.1	5 681	0.21	3 307	0.31
PAV	0	19 810	0.15	16 870	0.15
	0.1	6 933	0.18	4 142	0.27

Values of elasticity moduli and Poisson's coefficients for the materials of other layers of pavement and soil of subgrade are specified under the standard document CN RK 3.03-19-2006 [10] and are shown in the Table 2.

Table 2 – Values of elasticity modulus and Poisson's coefficients for the materials of the layers for pavement and soil

Material, soil	Elasticity modulus E, MPa	Poisson's coefficient
Crushed stone and sand mix, treated with cement (8 %)	1000	0.30
Crushed stone and sand mix (6-40 mm)	250	0.30
Natural gravel and sand mix	180	0.30
Soil – light dusty clay loam: moisture $W_p = 0,64 W_T$	58	0.35

**2.3. Calculation scheme.** Calculation scheme of pavement structure and subgrade is shown in Figure 1. As it is seen, the top five layers of this calculation scheme simulate the layers of the adopted pavement, they have relevant thicknesses  $h_1, h_2, h_3, h_4, h_5$ , materials of the layers are characterized by elasticity moduli  $E_1, E_2, E_3, E_4, E_5$  and Poisson's coefficients  $\nu_1, \nu_2, \nu_3, \nu_4, \nu_5$ . And the lowest, i.e. the sixth layer simulates the subgrade and infinitely stretches downwards ( $h_6 \rightarrow \infty$ ). The material of this layer is the soil of subgrade, which is characterized by elasticity modulus  $E_6$  and Poisson's coefficient  $\nu_6$ .

The vertical static load with the intensity of  $q$ , uniformly distributed within the circle with diameter of  $D$ , impacts on the surface of the upper layer, which simulates the load from the wheel of the vehicle. In our case  $q = 0.4; 0.5; 0.6; 0.7$  and  $0.8$  MPa and  $D = 42$  cm.

Materials of all constructive layers of pavement and soil of subgrade are considered as elastic ones.

Stresses and strains in such multilayer elastic system are determined with the use of solution of Prof. Privarnikov A.K [11].

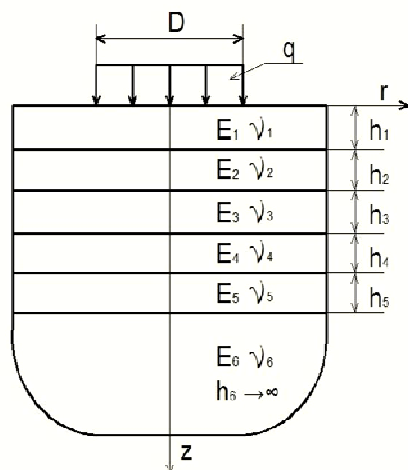


Figure 1 – Calculation scheme of pavement and subgrade

**2.4. Stresses and strains.** Components of stress and strain were calculated at temperature of  $10^{\circ}\text{C}$  in point, located on the bottom surface of the second asphalt concrete layer along the vertical axis, which passes through the center of the circle of loading, and they are shown in the Figures 2-9. The analysis of graphs for variation of stresses and strains show that they have as general, common for all, as well as separate, specific for each of them, peculiarities. General features for all the components of stress and strain are:

1. Significant variation of stresses and strains occur in zone with dimension 2-3 of the diameter for the circle of loading, which is under load impact.

2. Stiffness of asphalt concretes impacts greatly on distribution and variation of stresses and strains.

Together with the general peculiarities, mentioned above, the components of stress and strain have the following individual peculiarities of variation in longitudinal direction (in direction of traffic moving):

1. Longitudinal and transversal normal stresses, in zone under impact, are tensile, they are reduced fast with the increase of the distance and, depending on the stiffness of the asphalt concrete layers on various distances, they transform into compressive ones. The value of tensile longitudinal and transversal normal stresses depends greatly on the stiffness of the asphalt concrete layers, with the increase of which the first ones considerably (in several times) increase. Thus, the maximum values of the longitudinal and transversal normal stresses at the instantaneous strain ( $t = 0$ ), load duration  $t = 0.1$  second and during decrease of the asphalt concretes stiffness for a half of the initial one ( $t = 0.1$  s and  $E = E/2$ ) are 1,46; 0,39 and 0,03 MPa respectively.

The longitudinal and transversal strains are of similar qualitative nature, only with a small difference that their values decrease in the sphere of compressive strains with the increase of the asphalt concretes stiffness. And the values of instantaneous strain are lower than others in the sphere of tensile strains. Maximum value of longitudinal and transversal strain is 110 microstrain, i.e.  $110 \cdot 10^{-6}$ .

2. The vertical normal stress is a compressive one in every location. Its value also varies considerably depending on the asphalt concretes stiffness and decreases with its increase.

The vertical strain is of similar character of variation in the sphere of the compressive values (under impact). The vertical strain changes its sign approximately at the distances, equal to 1.5 of the radius of the circle of loading, depending on the stiffness of the asphalt concretes, i.e. it transforms from the compressive strain to the tensile one. The strain increases with the asphalt concrete stiffness decrease in the sphere of the compressive values, as well as in the sphere of the tensile ones.

3. Shearing stress and shearing strain are of similar qualitative nature for variation: at the beginning of coordinates (under load impact) they are equal to zero; at the distances, which are approximately two radiuses of the circle of loading, they have maximum values, then they reduce again; it seems that the location of maximum shearing stress and shearing strain do not depend on the asphalt concrete stiffness, but their values considerably depend on the latter – the shearing stress and shearing strain decrease with the asphalt concrete stiffness increase. Their graphs are antisymmetric in relation to the axis, passing through the center for the circle of loading.

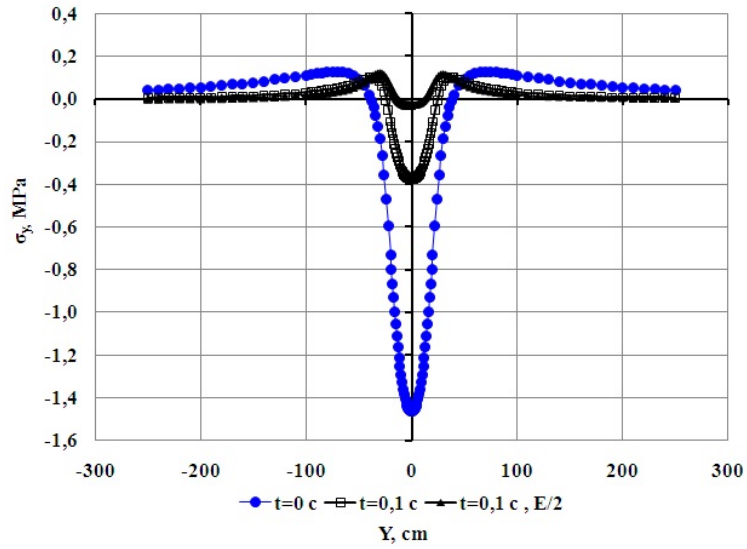


Figure 2 – Graph for variation of longitudinal normal stress in direction of traffic

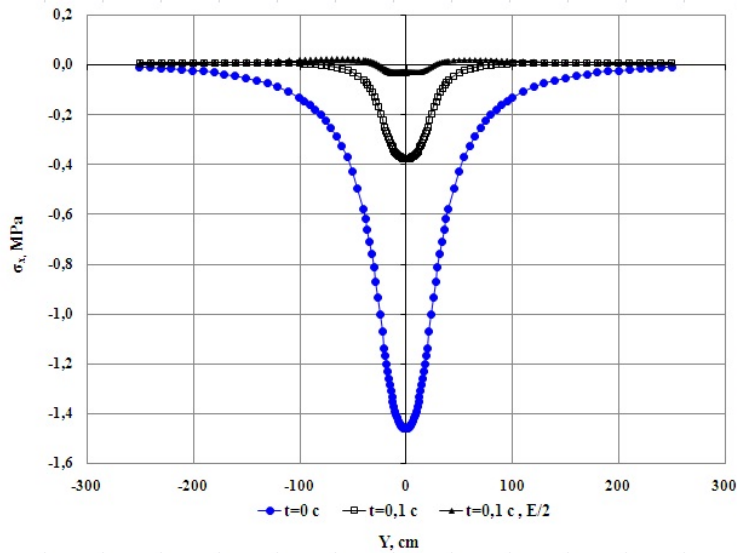


Figure 3 – Graph for variation of transversal normal stress in direction of traffic

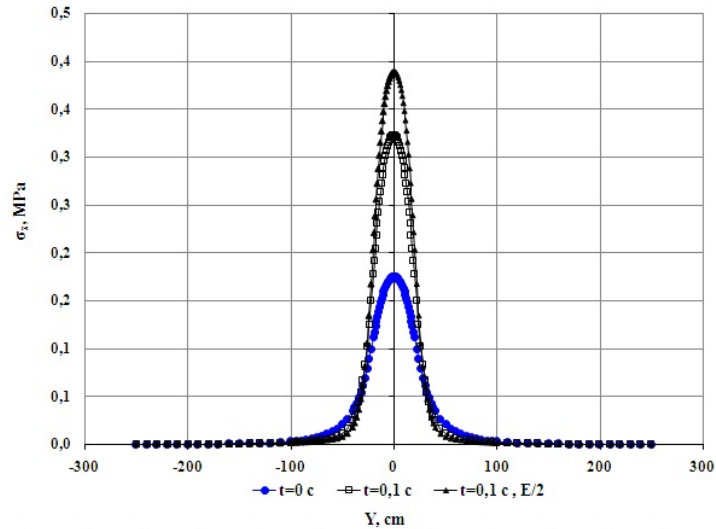


Figure 4 – Graph for variation of vertical normal stress in direction of traffic



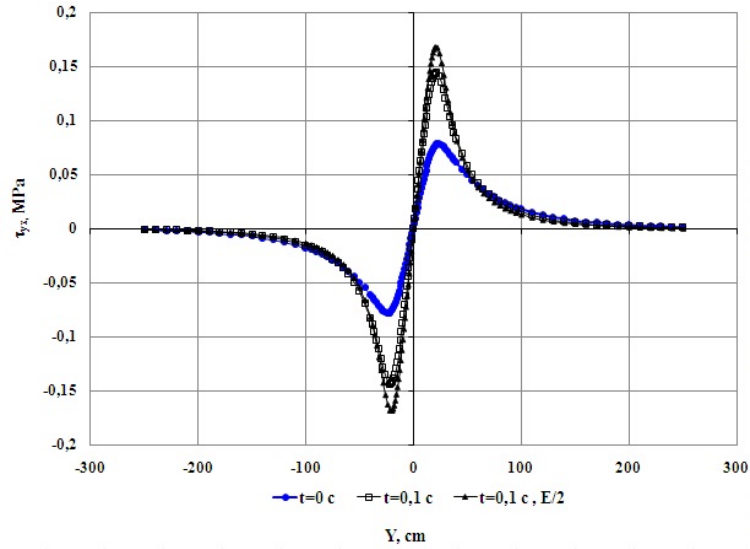


Figure 5 – Graph for variation of shearing stress in direction of traffic

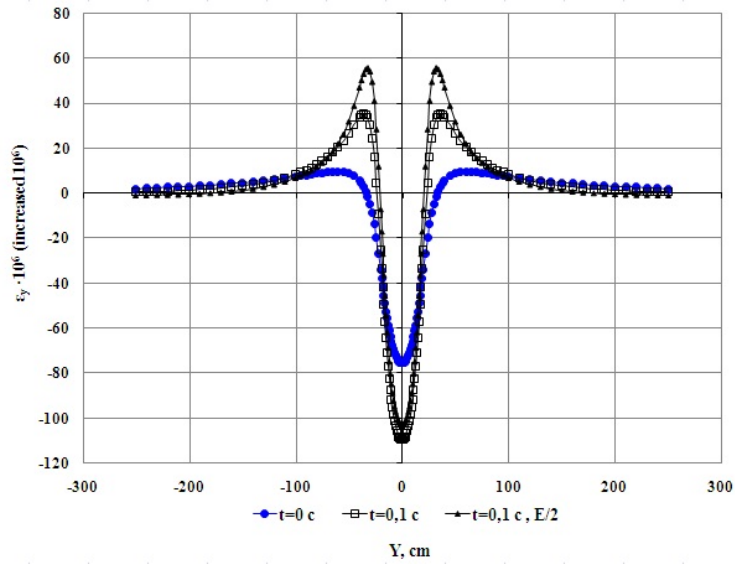


Figure 6 – Graph for variation of longitudinal strain in direction of traffic

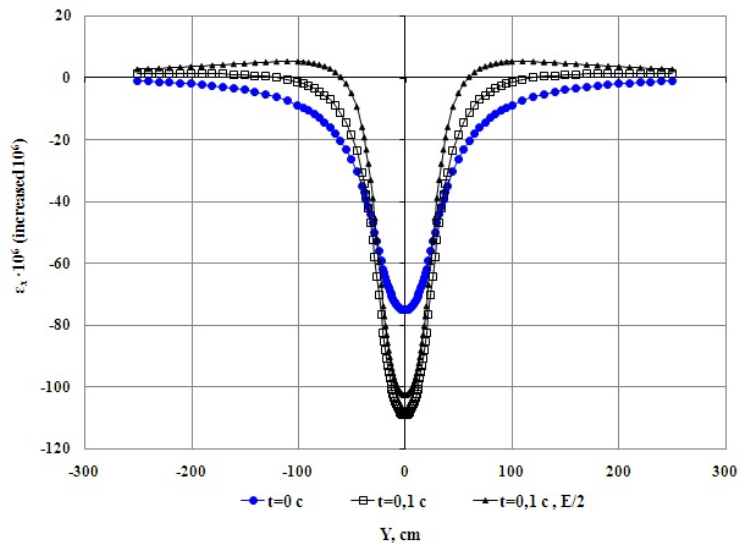


Figure 7 – Graph for variation of transversal strain in direction of traffic

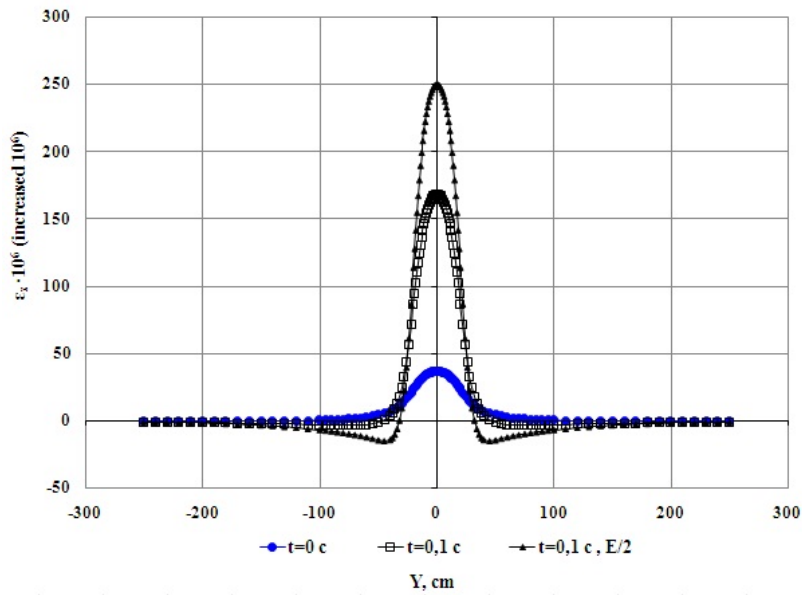


Figure 8 – Graph for variation of vertical strain in direction of traffic

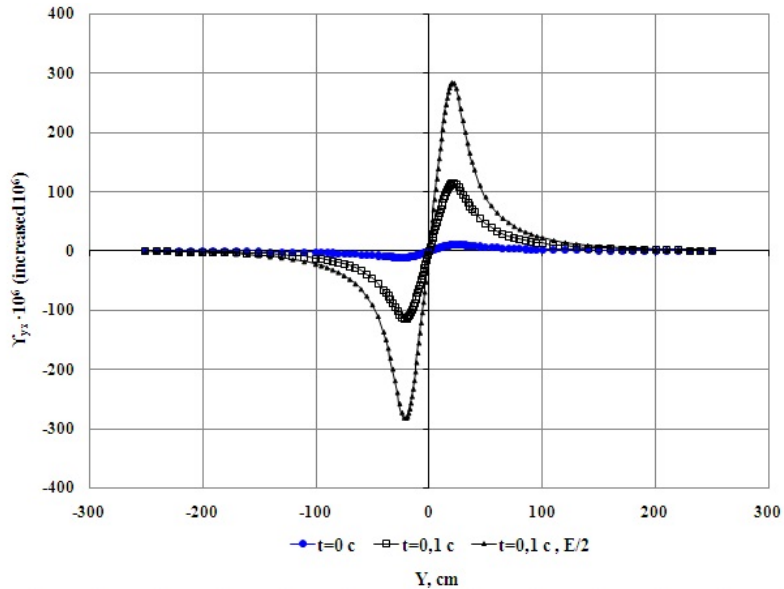


Figure 9 – Graph for variation of shearing strain in direction of traffic

### 3. Thermodynamics.

**3.1. Dissipation energy.** As it was mentioned above, in our previous paper [1] it was proposed to consider the parts of asphalt concrete during the periods of the fatigue destruction as the specific dissipative structures, occurring in critical situation. If this proposal (hypothesis) is correct, then the physical processes, occurring in asphalt concrete pavement as in thermodynamic system, should meet the known criteria of thermodynamics of irreversible processes. Such criteria are the universal Glensdorf-Prigozhin criterion [12-14] and Klimontovich criterion [15], which use the entropy production as the function of condition, characterizing the processes of self-organization. To calculate the entropy production we should determine the dissipation energy.

In this paper the dissipation energy, irreversibly scattered by the asphalt concrete pavement into the environment, is determined under the equation:

$$W_d = W_0 - W_V, \tag{11}$$

where  $W_0$  is instantaneous strain energy ( $t = 0$ );  $W_V$  is strain energy at load duration ( $t = 0.1$  s).

During determination of the dissipation energy under the equation (11) it is adopted that instantaneous strain of the asphalt concrete pavement under load impact is pure elastic and dissipation energy occurs at any finite load duration (for example, at  $t = 0.1$  s) due to the mechanism of relaxation.

Figure 10 represents the graphs, showing the dependence on the load of the instantaneous strain energy  $W_0$  (RTFO), strain energies at load duration for 0.1 s at the initial period of operation  $W_{0,1}$  (RTFO) and during operation of the asphalt concrete pavement before fatigue destruction  $W_{0,1}$  (PAV E/2). As it is seen, all the types of the mentioned strain energies depend greatly on the load; the more the load the more the energies. The dependences are linear. As it has been expected, the strain energy is the biggest at all the loads at instantaneous strain, which is easily explained by the big value of the instantaneous elasticity modulus. The elasticity modulus decreases with the load duration increase, and in addition the relevant strain energies are also reduced.

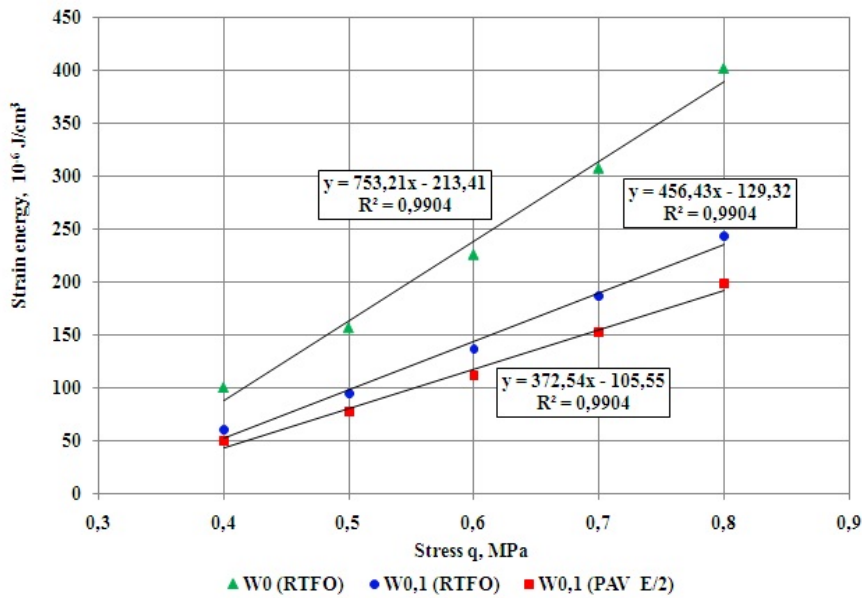


Figure 10 – Graphs for variation of strain energy depending on load

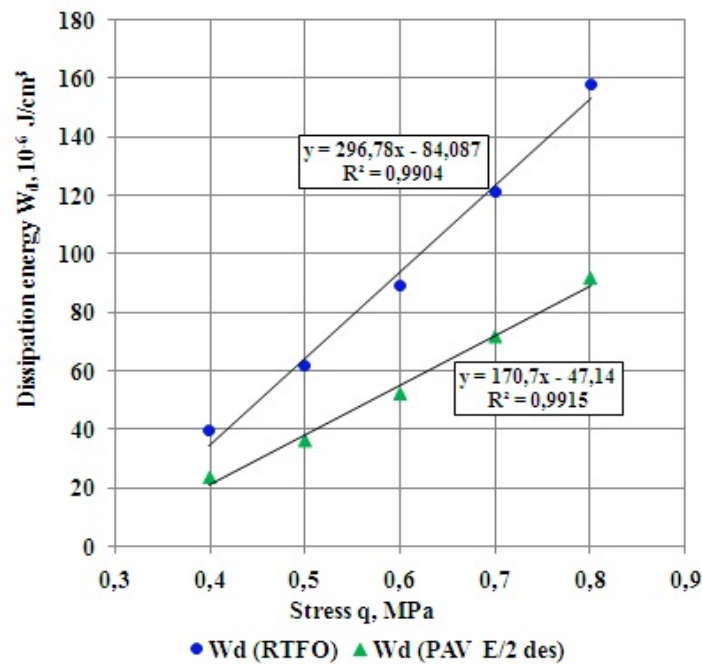


Figure 11 – Graphs for variation of dissipation energy depending on load

The graphs of variation for dissipation energies depending on the load are shown in Figure 11. It is seen, that similar to the strain energies, the dissipation energies also increase linearly with the increase of the load from the vehicle, moreover at all the loads the dissipation energy at the initial period of operation of the asphalt concrete pavement  $W_d$  (RTFO) is considerably more than during the period with fatigue destruction  $W_d$  (PAV E/2 des). During determination of the dissipation energy in the asphalt concrete pavement with fatigue destruction the specific elements of the asphalt concrete are considered as the rod and the vertical stress in the bottom of the rod is equal to the vertical stress in the bottom of the uniform (without destruction) asphalt concrete pavement.

**3.2. Glensdorf-Prigozhin universal criterion.** In the thermodynamics of irreversible processes the universal criterion of evolution for self-organization dynamic system is formulated in the following form: “In any non-equilibrium system with the fixed border conditions the processes occur in such way that the rate of variation for entropy production, stipulated by the variations of thermodynamics forces, decreases” [12-14]. Meanwhile, the entropy production is the amount of the entropy, produced by the system at a time unit.

In accordance with the second principle of thermodynamics we have [16]:

$$\delta Q = T \cdot ds, \tag{12}$$

where  $\delta Q$  is small volume of heat (energy);  $ds$  is small amount of entropy;  $T$  is thermodynamics temperature.

In respect to our case we rewrite the equation (12) in the following form:

$$\Delta S = \frac{\Delta W_d}{T}, \tag{13}$$

where  $\Delta S$  is amount of entropy;  $\Delta W_d$  is amount of dissipation energy.

During calculation of the entropy under the equation (13) it is necessary to clarify the following. According to the definition the entropy production represents by itself the amount of entropy, accounted for the time unit. Dissipation energy, included into the equation (13), represents by itself the amount of scattered energy at single action (passage) of the load from the wheel of the vehicle. Taking into account the above, the amount of entropy, calculated under the equation (13), can be considered as the entropy production during the time of single load impact.

Calculated values of the entropy production with various loads at the initial period of operation for the asphalt concrete pavement and after occurrence of the fatigue destructions in it are represented graphically in Figure 12. As it is seen, similar to the dissipation energy, the entropy production also increases

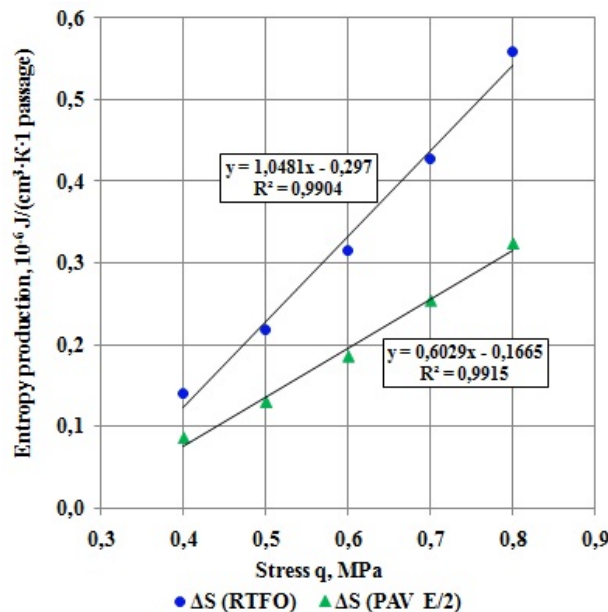


Figure 12 – Graphs for dependence of entropy production on load value

linearly with the load increase in both considered operational conditions of the asphalt concrete pavement. It is obvious that at the same temperature with all the loads the entropy production at the initial period of operation is more than after the fatigue destruction.

In our case the thermodynamics force is the load (stress) from the wheel of the vehicle, acting on the surface of the asphalt concrete pavement. Therefore the slopes of the graphs in Figure 12 represent by itself the rate of variation for entropy production, stipulated by the variation of the thermodynamic force. As it is seen, the slope of the graph, corresponding to the condition of the asphalt concrete pavement after occurrence of the fatigue destructions are obviously (considerably) less, than in the beginning of operation, i.e. Glensdorf-Prigozhin universal criterion is observed.

**3.3. Principle of Yu.L. Klimontovich.** The paper of Yu.L. Klimontovich formulated “Principle of entropy production minimum in the processes of self-organization”, which consists in the following. The process of self-organization is represented as a phase transition (or sequence of phase transitions), with the result that the system transforms into more ordered state. The principle states that the entropy production in a new – more ordered state, occurred as the result of the successive phase transition, is less than the entropy production of the old condition, which is mentally extended into the unstable sphere [17].

Figure 13 represents two graphs for variation of entropy production in the asphalt concrete pavement, related to two time moments: the first of them corresponds to the condition of pavement before occurrence of fatigue destructions, and the second one – after their occurrence. Then the straight line 1 will correspond to the old condition of the asphalt concrete pavement, which is mentally extended into unstable sphere, and the straight line 2 will correspond to a new – more ordered state. As it is seen from the Figure 13, entropy production in the asphalt concrete pavement with all the considered loads in a new – more ordered state (straight line 2) is less than the entropy production of the old condition, which is mentally extended into the unstable sphere (straight line 1).

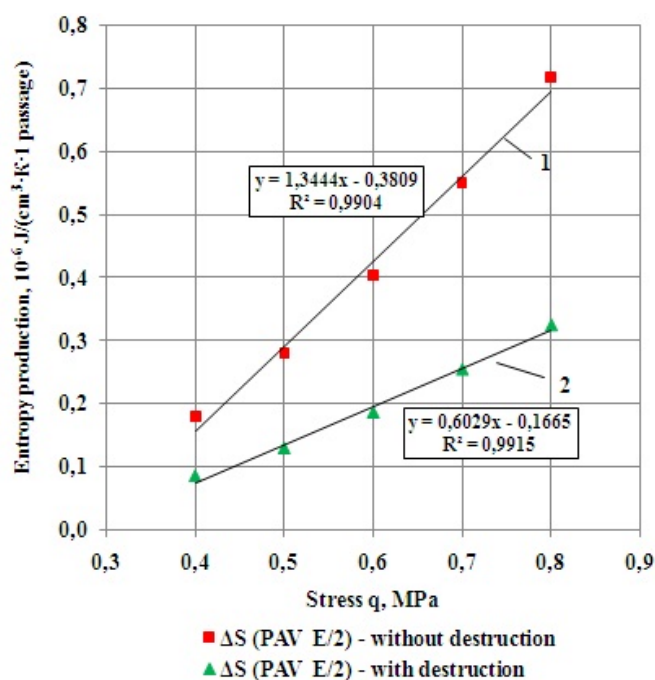


Figure 13 – Graphs for dependence of entropy production on load value

Therefore, it is shown that principle of Yu.L. Klimontovich – principle of entropy production minimum in the processes of self-organization – is observed at the fatigue destruction.

### Conclusion.

1. Components of stress and strain in the bottom surface of the second asphalt concrete layer for the modern pavement structure of a highway, occurred under impact of the estimated vehicle load, in the direction of traffic, vary greatly depending on the asphalt concrete stiffness.

2. All calculated types of strain energy – at the instantaneous strain, strain at load duration for 0.1 s on the initial stage of operation and during operation with the aged bitumen – depend greatly on the load and increase linearly with the increase of the latter.

3. Dissipation energy and entropy production also increase linearly with the load increase and they also depend on the operational condition of pavement.

4. At fatigue destruction the known criteria of the thermodynamics of irreversible processes are observed – the universal Glensdorf-Prigozhin criterion and Klimontovich principle.

#### REFERENCES

- [1] B.B.Teltayev. Fatigue failure of asphalt concrete pavement. 1. Self-organization and mechanical interpretation //Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences. 2017. № 3. - P. 1-33. (in Russ.).
- [2] Huang Y.H. Pavement Analysis and Design. Second Edition. Pearson Education, Inc. Upper Saddle River. New Jersey. 2004. – 775 p. (in Eng.).
- [3] Papagiannakis A.T., Masad E.A. Pavement Design and Materials. John Wiley & Sons Inc. New Jersey. 2008. – 542 p. (in Eng.).
- [4] Yoder E.J., Witzack M.W. Principles of Pavement Design. John Wiley & Sons Inc. New Jersey. 1975. – 736 p. (in Eng.).
- [5] Christensen D.W., Bonaquist R.F. Improved Hirsch model for estimating the modulus of hot mix asphalt. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists. Vol. 84. 2015. (in Eng.).
- [6] Radovskiy B., Teltayev B. Visco-elastic properties of asphalts based on penetration and softening point. Almaty, Publisher «Bilim», 2013. 152 p. (in Russ.).
- [7] Bagdat Teltayev and Boris Radovskiy. Low Temperature Cracking Problem for Asphalt Pavements in Kazakhstan, Труды 8<sup>th</sup> RILEM International Conference on Mechanisms of Cracking and Debonding in Pavements, Vol.1, 2016, pp. 139-145. (in Eng.).
- [8] ARA, Inc, ERES Consultants Division. Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures. Final Report. NCHRP Project 1-37 A. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2004. (in Eng.).
- [9] EN 12697-24. Bituminous Mixtures. Test Methods for Hot Mix Asphalt. Part 24: Resistance to Fatigue. European Committee for Standardization. Brussels, Belgium. 2004. 64 p. (in Eng.).
- [10] CN RK 3.03-19-2006. Design of flexible pavements. Astana, 2007. 87 p. (in Russ.).
- [11] Privarnikov A.K. Polydimensional deformation of multilayer base course /Stability and strength of structural elements. – Dnepropetrovsk, 1973. – pp. 27-45. (in Russ.).
- [12] Prigogine I. Introduction to thermodynamics of irreversible processes. – M.: IL, 1960. – 128 p. (in Russ.).
- [13] Glansdorff P., Prigogine I. Thermodynamic theory of structure, stability and fluctuations. – M.: Mir, 1973. – 281 p. (in Russ.).
- [14] Prigogine I. Time, structure and fluctuations (Nobel lecture in chemistry of 1977 year) //Successes of physical sciences. 1980. Volume 131. No. 2. – P. 185-207. (in Russ.).
- [15] Klimontovich Yu. L. Turbulent motion and structure of chaos. – M.: Nauka, 1990. (in Russ.).
- [16] Bazarov I.P. Thermodynamics. Saint-Petersburg, Publisher “Lan”, 2010. – 384 p. (in Russ.).
- [17] Osipov A.I. Thermodynamics yesterday, today and tomorrow. Part 2. Nonequilibrium thermodynamics //Soros education journal. No 5. 1999. – P. 91-97. (in Russ.).

#### **Information about the author:**

Teltayev Bagdat Burkhanbaiuly – Doctor of Technical Sciences, Professor, President of JSC “Kazakhstan Highway Research Institute”. JSC “KazdorNII”, Almaty, Kazakhstan, e-mail: bagdatbt@yahoo.com

Б. Б. Телгаев

Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт, Алматы, Казахстан

## УСТАЛОСТНАЯ ДЕСТРУКЦИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ. 2. ТЕРМОДИНАМИКА

**Аннотация.** В работе установлена ранее закономерность усталостной деструкции асфальтобетонного покрытия доказывается путем показа соблюдения известных критериев термодинамики необратимых процессов – универсального критерия Гленсдорфа-Пригожина и принципа минимума производств энтропии Ю.Л. Климонтовича. Значения производства энтропии при действии автомобильной нагрузки разной величины вычислены через значения напряжений и деформаций в асфальтобетонном покрытии автомобильной дороги. Напряжения и деформации определены с использованием решения А.К. Приварникова для многослойного упругого полупространства, на поверхность которого приложена вертикальная статическая нагрузка, равномерно распределенная по площади круга. Для расчета напряжений и деформаций принята пятислойная конструкция дорожной одежды, включающая два асфальтобетонных слоя.

**Ключевые слова:** асфальтобетонное покрытие, усталостная деструкция, производство энтропии, критерий Гленсдорфа-Пригожина, принцип Климонтовича.

**1. Введение.** В работе автора [1], посвященной изучению усталостной деструкции асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги, основываясь на фактических материалах, полученных на участках функционирующих автомобильных дорог, был сформулирован принцип стадийности усталостной деструкции асфальтобетонного покрытия. Затем, по аналогии с известными явлениями самоорганизации в термодинамике необратимых процессов и динамике нелинейных систем (синергетике) – эффектом Бенара и делением биологической клетки, предложено считать части асфальтобетонного покрытия специфическими диссипативными структурами, возникающими в критических условиях, и сформулирована новая закономерность стадийной усталостной деструкции асфальтобетонного покрытия. Эта закономерность объяснена на основе вновь предложенной схемы бифуркации с использованием результатов экспериментального определения одно-разовой, циклической, длительной и остаточной прочности асфальтобетона.

В настоящей работе установлена закономерность стадийной усталостной деструкции асфальтобетонного покрытия доказывается путем показа соблюдения критериев термодинамики необратимых процессов, а именно, универсального критерия Гленсдорфа-Пригожина и принципа Климонтовича.

### 2. Напряженно-деформированное состояние.

**2.1. Конструкция дорожной одежды.** Для выполнения расчетов напряжений и деформаций, возникающих под действием расчетной автомобильной нагрузки, с последующим определением энергий деформирования и диссипации принята нижеследующая конструкция дорожной одежды, которая является одной из наиболее типичных для автомобильных дорог высших технических категорий в Казахстане:

1-слой: асфальтобетон мелкозернистый плотный, толщина  $h_1 = 5$  см;

2-слой: асфальтобетон крупнозернистый пористый,  $h_2 = 10$  см;

3-слой: щебеночно-песчаная смесь, укрепленная цементом (8%) в установке,  $h_3 = 20$  см;

4-слой: щебеночная смесь (6-40 мм),  $h_4 = 20$  см;

5-слой: гравийно-песчаная смесь природная,  $h_5 = 25$  см.

Грунт земляного полотна – суглинок легкий пылеватый.

Предполагается, что для приготовления асфальтобетонов будет использован битум марки БНД 100-130, произведенный Павлодарским нефтехимическим заводом.

**2.2. Деформационные характеристики материалов и грунта.** Асфальтобетон является вязкоупругим материалом [2-4] и его деформационные свойства зависят от температуры и длительности нагружения. В настоящей работе модуль упругости мелкозернистого плотного и крупнозернистого пористого асфальтобетонов были вычислены по модифицированной формуле Хирша, предложенной в работе [5]:

$$E_{ac}(t) = P_c(t) \cdot [E_{ag} \cdot (1 - VMA) + E_b(t) \cdot VFA \cdot VMA], \quad (1)$$

$$P_c(t) = 0,006 + \frac{0,994}{1 + \exp \left[ - \left( 0,6628 + 0,5861 \cdot \ln \left( VFA \cdot \frac{E_b(t)}{3} \right) \right) - 12,87 \cdot VMA - 0,1706 \cdot \ln(\varepsilon \cdot 10^6) \right]}, \quad (2)$$

где  $E_{ac}(t)$  - модуль упругости асфальтобетона в момент времени  $t$ ;  $E_b(t)$  - модуль упругости битума в момент времени  $t$ ;  $E_{ag}$  - модуль упругости каменного заполнителя, принятый равным 26 540 МПа;  $VMA$  - пористость минерального материала (в долях единицы);  $VFA$  - доля межзерновых пор, заполненных вяжущим (в долях единицы);  $\varepsilon$  - уровень деформации, принятый равным  $100 \cdot 10^{-6}$  для средней температуры.

Модуль упругости битума  $E_b(t)$  вычисляется по формуле [6, 7]:

$$E_b(t) = Eg \left[ 1 + \left( \frac{Eg \cdot t}{3 \cdot \eta} \right)^b \right]^{-\left(1 + \frac{1}{b}\right)}, \quad (3)$$

где  $Eg$  - мгновенный модуль упругости битума, принятый равным 2 460 МПа;  $\eta$  - коэффициент вязкости битума, МПа·с.

Коэффициент вязкости  $\eta$  определяется по выражениям:

$$\begin{cases} \eta = a_{TrAhr}(T) \cdot \eta(T_r) & T \leq T_{rb} - 10; \\ \eta = a_{TrWLF}(T) \cdot \eta(T_r) & T > T_{rb} - 10, \end{cases} \quad (4)$$

$$\eta(T_r) = 0,00124 \left[ 1 + 71 \cdot \exp \left[ - \frac{12(20 - PI)}{5(10 + PI)} \right] \right] \cdot \exp \left( \frac{0,2011}{0,11 + 0,0077 PI} \right), \quad (5)$$

$$a_{TrAhr}(T) = \exp \left[ 11720 \cdot \frac{3(30 + PI)}{5(10 + PI)} \left[ \frac{1}{(T + 273)} - \frac{1}{(T_{rb} + 263)} \right] \right], \quad (6)$$

$$a_{TrWLF}(T) = \exp \left[ - \frac{2,303 (T - T_{rb} + 10)}{(0,11 + 0,0077 PI) (114,5 + T - T_{rb})} \right]. \quad (7)$$

где  $PI$  и  $T_{rb}$  - индекс пенетрации и температура размягчения битума.

Параметр  $b$  вычисляется по выражениям:

$$b = \frac{1}{\frac{1}{\beta} + \frac{\ln(\pi)}{\ln(2)} - 2}, \quad (8)$$

$$\beta = \frac{0,1794}{1 + 0,2084 PI - 0,00524 PI^2}. \quad (9)$$

Значения коэффициента Пуассона асфальтобетонов определены по формуле, рекомендуемой Руководством [8]:

$$\nu = 0,15 + \frac{0,35}{1 + \exp(-1,63 + 3,84 \cdot 10^{-6} \cdot E_{ac}(t))}, \quad (10)$$

где  $\nu$  - коэффициент Пуассона асфальтобетона;  $E_{ac}(t)$  - модуль упругости асфальтобетона.



В связи с необходимостью вычисления энергии диссипации в асфальтобетонном слое дорожной одежды в начальное время эксплуатации и в период появления усталостной деструкции, значения модулей упругости асфальтобетонов определены в двух их состояниях – после кратковременного (RTFOT) и длительного (RTFOT+PAV) старения битума и при длительностях действия нагрузки  $t = 0$  с (мгновенное деформирование) и  $t = 0,1$  с. Вычисленные значения модулей упругости и коэффициентов Пуассона асфальтобетонов даны в таблице 1. Кроме того, в настоящее время во многих странах мира, в том числе европейских, принято, что усталость асфальтобетона наступает тогда, когда его жесткость (модуль упругости) уменьшается в два раза от начального [9]. Для принятых нами плотного и пористого асфальтобетонов такие значения модулей упругости при длительности действия нагрузки  $t = 0,1$  с равны 3467 МПа и 2071 МПа соответственно, а значения коэффициентов Пуассона – 0,30 и 0,37 соответственно.

Таблица 1 – Значения модулей упругости (E) и коэффициентов Пуассона ( $\nu$ ) асфальтобетонов

Старение Битума	Длительность действия нагрузки t, с	Асфальтобетон			
		Мелкозернистый плотный		крупнозернистый пористый	
		E, МПа	$\nu$	E, МПа	$\nu$
RTFOT	0	19 810	0,15	16 870	0,15
	0,1	5 681	0,21	3 307	0,31
PAV	0	19 810	0,15	16 870	0,15
	0,1	6 933	0,18	4 142	0,27

Значения модулей упругости и коэффициентов Пуассона материалов других слоев дорожной одежды и грунта земляного полотна назначены по нормативному документу СН РК 3.03-19-2006 [10] и представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения модулей упругости и коэффициентов Пуассона материалов слоев дорожной одежды и грунта

Материал, грунт	Модуль упругости E, МПа	Коэффициент Пуассона
Щебеночно-песчаная смесь, укрепленная цементом (8 %)	1000	0,30
Щебеночная смесь (6-40 мм)	250	0,30
Гравийно-песчаная смесь природная	180	0,30
Грунт – суглинок легкий пылеватый: влажность $W_p = 0,64 W_T$	58	0,35

**2.3. Расчетная модель.** Расчетная схема конструкции дорожной одежды и земляного полотна показана на рисунке 1. Как видно, верхние пять слоев в этой расчетной схеме моделируют слои принятой дорожной одежды, имеют соответствующие толщины  $h_1, h_2, h_3, h_4, h_5$ , материалы слоев характеризуются модулями упругости  $E_1, E_2, E_3, E_4, E_5$  и коэффициентами Пуассона  $\nu_1, \nu_2, \nu_3, \nu_4, \nu_5$ .

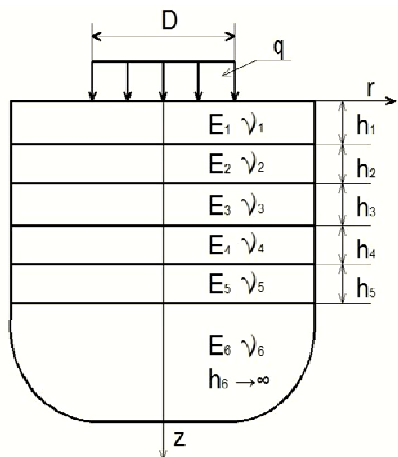


Рисунок 1 – Расчетная схема дорожной одежды и земляного полотна

А самый нижний, т.е. шестой слой моделирует земляное полотно и бесконечно простирается вниз ( $h_6 \rightarrow \infty$ ). Материал этого слоя – грунт земляного полотна характеризуется модулем упругости  $E_6$  и коэффициентом Пуассона  $\nu_6$ .

На поверхность верхнего слоя системы приложена вертикальная статическая нагрузка с интенсивностью  $q$ , равномерно распределенная по площади круга с диаметром  $D$ , которая моделирует нагрузку от колеса автомобиля. В нашем случае  $q = 0,4; 0,5; 0,6; 0,7$  и  $0,8$  МПа и  $D = 42$  см.

Материалы всех конструктивных слоев дорожной одежды и грунта земляного полотна считаются упругими.

Напряжения и деформации в такой многослойной упругой системе определяются с использованием решения проф. Приварникова А.К [11].

**2.4. Напряжения и деформации.** Компоненты напряжения и деформации вычислены при температуре  $10^\circ\text{C}$  в точке, расположенной на нижней поверхности второго асфальтобетонного слоя по вертикальной оси, проходящей по центру круга нагружения, и представлены на рисунках 2-9. Анализ графиков изменения напряжений и деформации показывает, что они имеют как общие, присущие всем, так и отдельные, характерные каждому из них, особенности. Общими для всех компонентов напряжения и деформации являются:

1. Существенное изменение напряжений и деформации имеет место в зоне с размером 2-3 диаметра круга нагружения и находящейся под нагрузкой.

2. Жесткость асфальтобетонов оказывает существенное влияние на распределение и изменение напряжений и деформаций.

Наряду с указанными выше общими, компоненты напряжения и деформации имеют и следующие индивидуальные особенности изменения в продольном направлении (в направлении движения нагрузки):

1. В зоне, находящейся под нагрузкой, продольные и поперечные нормальные напряжения являются растягивающими, с увеличением расстояния быстро убывают и в зависимости от жесткости асфальтобетонных слоев на разных расстояниях переходят в сжимающие. Величина растягивающих продольных и поперечных нормальных напряжений сильно зависят от жесткости асфальтобетонных слоев, с повышением которой первые существенно (в несколько раз) увеличиваются. Так, максимальные значения продольных и поперечных нормальных напряжений при мгновенном деформировании ( $t = 0$ ), длительности действия нагрузки  $t = 0,1$  секунд и в период уменьшения жесткости асфальтобетонов на половину от первоначальной ( $t = 0,1$  с и  $E = E/2$ ) составляют 1,46; 0,39 и 0,03 МПа соответственно.

Аналогичный качественный характер изменения имеют и продольная и поперечная деформации, только лишь с той разницей, что в области сжимающих деформаций их величины уменьшаются с повышением жесткости асфальтобетонов. А в области растягивающих деформаций значения мгновенной деформации меньше, чем другие. Максимальное значение продольной и поперечной деформации составляет 110 микрострейн, т.е.  $110 \cdot 10^{-6}$ .

2. Вертикальное нормальное напряжение всюду является сжимающим. Его величина также существенно изменяется в зависимости от жесткости асфальтобетонов и с её повышением уменьшается.

Аналогичный характер изменения имеет вертикальная деформация в области сжимающих значений (под областью нагрузки). Примерно на расстояниях, равных 1,5 радиуса круга нагружения в зависимости от жесткости асфальтобетонов, вертикальная деформация меняет знак, т.е. переходит от сжимающей к растягивающей. Как в области сжимающих, так и в области растягивающих значений, деформация увеличивается с понижением жесткости асфальтобетонов.

3. Касательное напряжение и сдвиговая деформация имеют качественно одинаковый характер изменения: в начале координат (под областью нагружения) равны нулю; на расстояниях, равных примерно двум радиусам круга нагружения, имеют максимальные значения, затем снова уменьшаются; видимо, положение максимальных касательного напряжения и сдвиговой деформации не зависит от жесткости асфальтобетонов, но от последней существенно зависят их величины – с повышением жесткости асфальтобетонов касательное напряжение и сдвиговая деформация уменьшаются. Их графики являются антисимметричными относительно вертикальной оси, проходящей через центр круга нагружения.

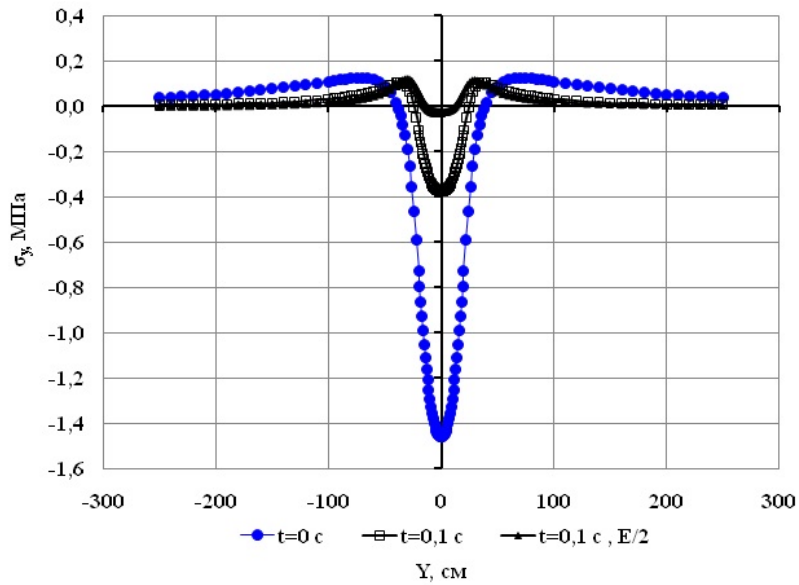


Рисунок 2 – График изменения продольного нормального напряжения в направлении движения

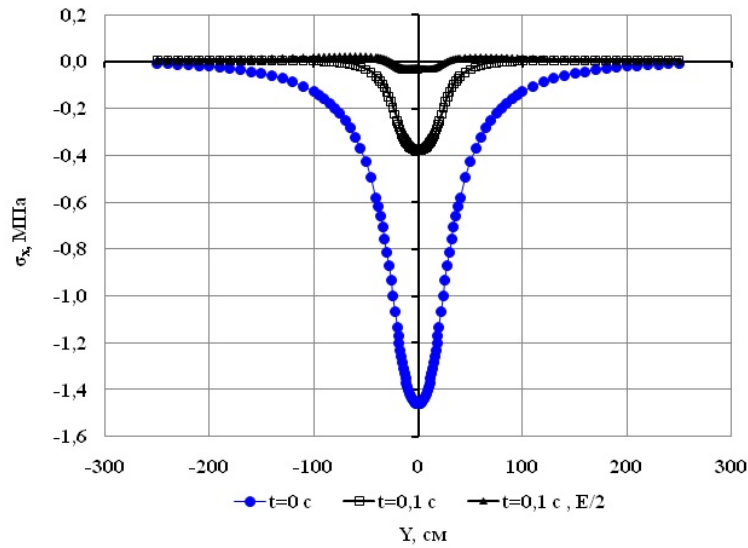


Рисунок 3 – График изменения поперечного нормального напряжения в направлении движения

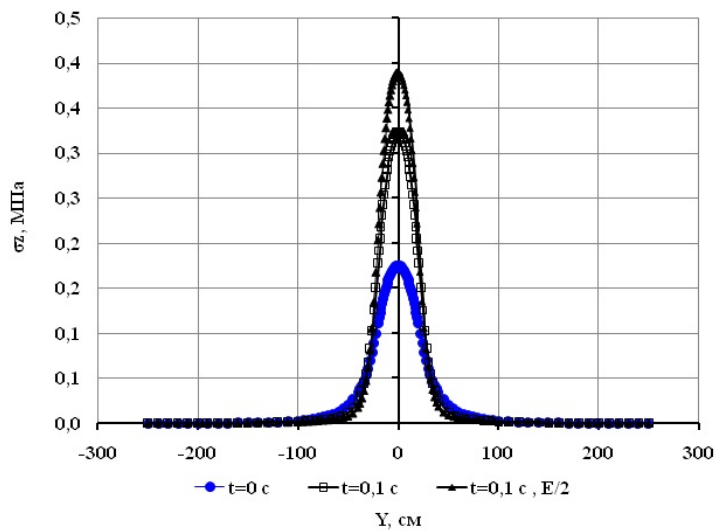


Рисунок 4 – График изменения вертикального нормального напряжения в направлении движения

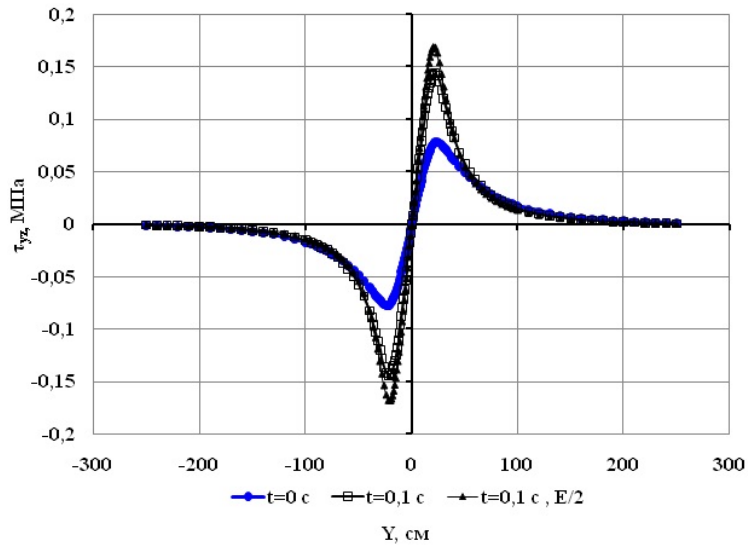


Рисунок 5 – График изменения касательного напряжения в направлении движения

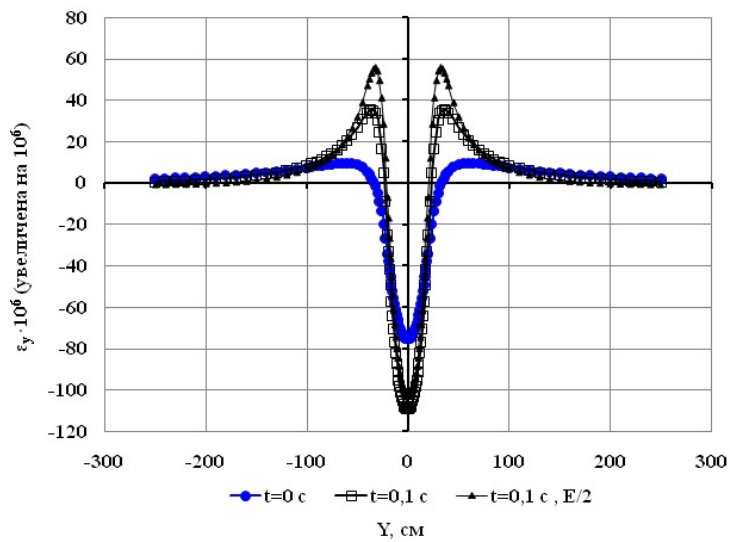


Рисунок 6 – График изменения продольной деформации в направлении движения

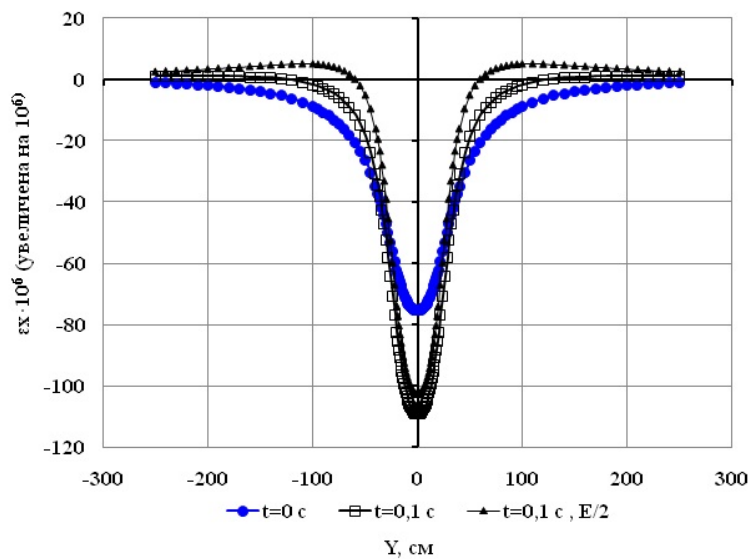


Рисунок 7 – График изменения поперечной деформации в направлении движения

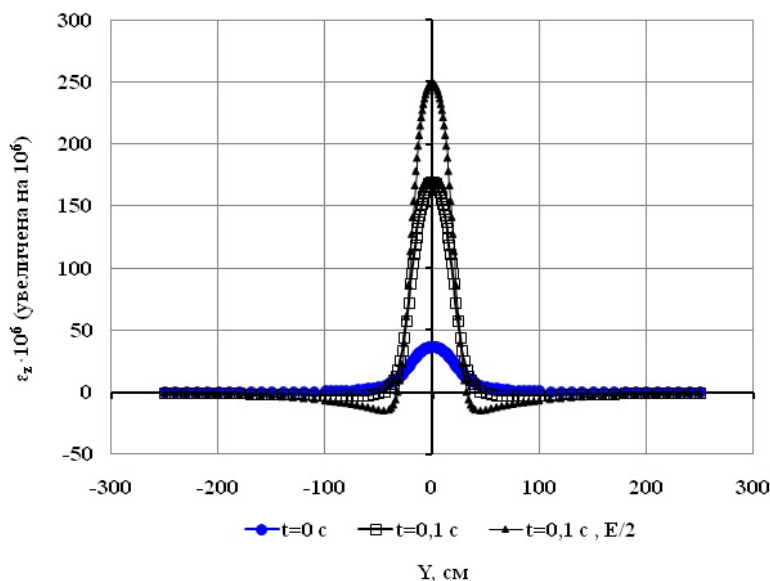


Рисунок 8 – График изменения вертикальной деформации в направлении движения

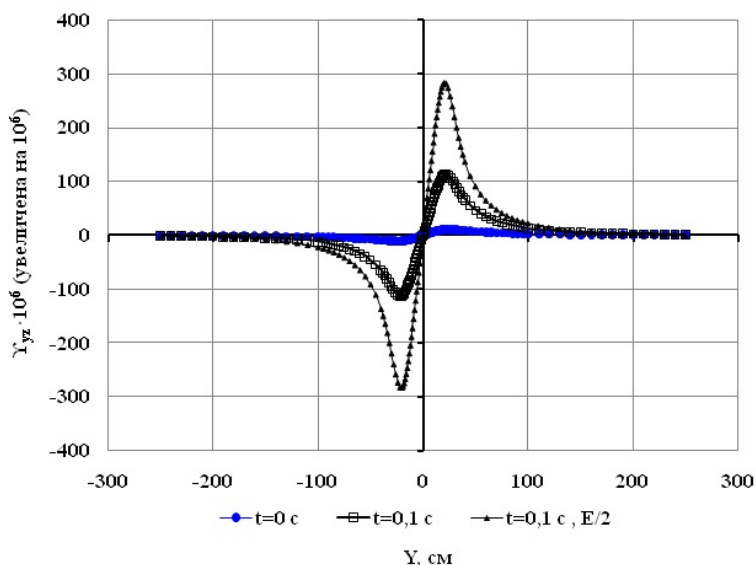


Рисунок 9 – График изменения сдвиговой деформации в направлении движения

### 3. Термодинамика.

**3.1. Энергия диссипации.** Как было указано выше, в нашей предыдущей работе [1] было предложено в периоды усталостной деструкции части асфальтобетонного покрытия считать специфическими диссипативными структурами, возникающими в критических условиях. Если это предложение (гипотеза) верно, то физические процессы, протекающие в асфальтобетонном покрытии как в термодинамической системе, должны удовлетворять известным критериям термодинамики необратимых процессов. Такими критериями являются универсальный критерий Гленсдорфа-Пригожина [12-14] и критерий Климонтовича [15], которые используют в качестве функции состояния, характеризующей процессы самоорганизации, производство энтропии. Чтобы вычислить производство энтропии, надо определить энергию диссипации.

В настоящей работе энергия диссипации, необратимо рассеиваемая асфальтобетонным покрытием в окружающую среду под действием расчетной нагрузки, определяется по выражению:

$$W_d = W_0 - W_V, \quad (11)$$

где  $W_0$  - энергия мгновенного деформирования ( $t = 0$ );  $W_V$  - энергия деформирования при длительности действия нагрузки ( $t = 0,1$  с).

При определении энергии диссипации по выражению (11) принято, что мгновенное деформирование асфальтобетонного покрытия под действием нагрузки является чисто упругим и при любой конечной длительности действия нагрузки (например, при  $t = 0,1$  с) происходит диссипация энергии за счет механизма релаксации.

На рисунке 10 представлены графики, показывающие зависимость от нагрузки энергии мгновенного деформирования  $W_0$  (RTFO), энергий деформирования при длительности нагрузки 0,1 с в начальный период эксплуатации  $W_{0,1}$  (RTFO) и в период эксплуатации асфальтобетонного покрытия перед усталостной деструкцией  $W_{0,1}$  (PAV E/2). Как видно, все виды указанных энергий деформирования сильно зависят от нагрузки: чем больше нагрузка, тем больше энергии. Зависимости являются линейными. Как следовало ожидать, при всех нагрузках энергия деформирования наибольшая при мгновенном деформировании, что легко объясняется большим значением мгновенного модуля упругости. С увеличением длительности действия нагрузки модуль упругости уменьшается, и при этом также уменьшаются соответствующие энергии деформирования.

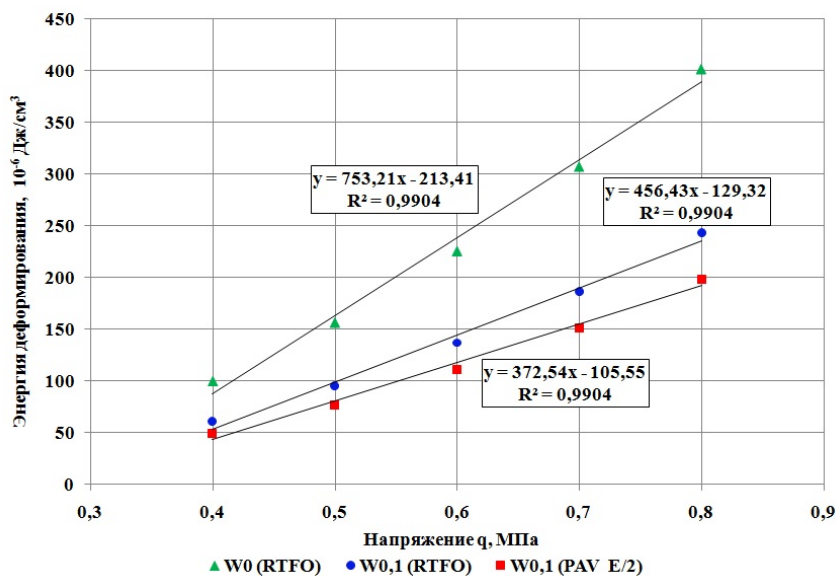


Рисунок 10 – Графики изменения энергий деформирования в зависимости от нагрузки

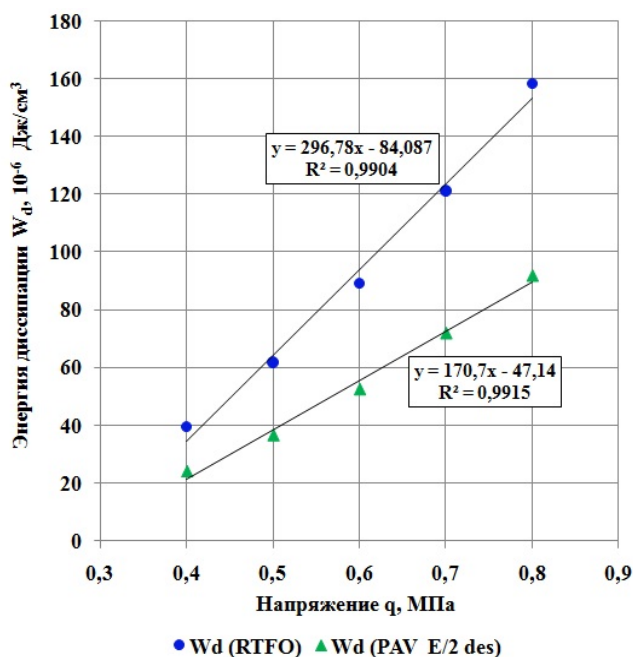


Рисунок 11 – Графики изменения энергий диссипаций в зависимости от нагрузки

Графики изменения энергий диссипации в зависимости от нагрузки показаны на рисунке 11. Видно, что по аналогии с энергиями деформирования, энергии диссипации также линейно увеличиваются с повышением нагрузки от автомобиля, причем при всех нагрузках диссипация энергии в начальный период эксплуатации асфальтобетонного покрытия  $W_d$  (RTFO) существенно больше, чем в период с усталостной деструкцией  $W_d$  (PAV E/2 des). При определении энергии диссипации в асфальтобетонном покрытии с усталостной деструкцией отдельные элементы асфальтобетона рассматриваются как стержень и вертикальное напряжение в нижней точке стержня равно вертикальному напряжению в нижней точке сплошного (без деструкции) асфальтобетонного покрытия.

**3.2. Универсальный критерий Гленсдорфа-Пригожина.** В термодинамике необратимых процессов универсальный критерий эволюции самоорганизующихся динамических систем сформулирован в следующем виде: «В любой неравновесной системе с фиксированными граничными условиями процессы идут так, что скорость изменения производства энтропии, обусловленная изменениями термодинамических сил, уменьшается» [12-14]. При этом производством энтропии называется количество производимой системой энтропии в единицу времени.

В соответствии со вторым началом термодинамики имеем [16]:

$$\delta Q = T \cdot ds, \quad (12)$$

где  $\delta Q$  - малый объем тепла (энергии);  $ds$  - малое количество энтропии;  $T$  - термодинамическая температура.

Применительно к нашему случаю перепишем выражение (12) в виде:

$$\Delta S = \frac{\Delta W_d}{T}, \quad (13)$$

где  $\Delta S$  - количество энтропии;  $\Delta W_d$  - количество энергии диссипации.

При вычислении энтропии по выражению (13) необходимо уточнить следующее. По определению производство энтропии представляет собой количество энтропии, приходящейся на единицу времени. Энергия диссипации, входящая в выражение (13), представляет собой количество рассеянной энергии при однократном действии (проезде) нагрузки от колеса автомобиля. Учитывая изложенное выше, количество энтропии, вычисленное по выражению (13), можно считать производством энтропии за время одноразового действия нагрузки.

Вычисленные значения производства энтропии при разных нагрузках в начальный период эксплуатации асфальтобетонного покрытия и после появления в нем усталостных деструкций представлены графически на рисунке 12. Как видно, по аналогии с энергией диссипации, производ-

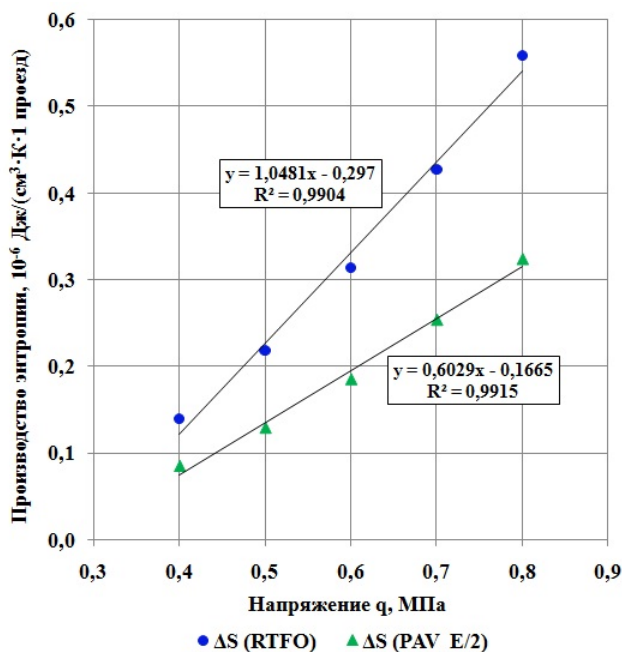


Рисунок 12 – Графики зависимости производства энтропии от величины нагрузки

ство энтропии также линейно увеличивается с повышением нагрузки в обоих рассмотренных эксплуатационных состояниях асфальтобетонного покрытия. Очевидно, что при одинаковой температуре при всех нагрузках производство энтропии в начальный период эксплуатации больше, чем после усталостной деструкции.

В нашем случае термодинамической силой является нагрузка (напряжение) от колеса автомобиля, действующее на поверхности асфальтобетонного покрытия. Поэтому наклоны графиков на рисунке 12 представляют собой скорость изменения производства энтропии, обусловленную изменением термодинамической силы. Как видно, наклон графика, соответствующий состоянию асфальтобетонного покрытия после появления усталостных деструкций заметно (существенно) меньше, чем в начале эксплуатации, т.е. соблюдается универсальный критерий Глендсдорфа-Пригожина.

**3.3. Принцип Ю.Л. Климонтовича.** В работе Ю.Л. Климонтовича [15] был сформулирован «Принцип минимума производства энтропии в процессах самоорганизации», который состоит в следующем. Процесс самоорганизации представляется как фазовый переход (или последовательность фазовых переходов), в результате чего система переходит в более упорядоченное состояние. Принцип утверждает, что производство энтропии в новом – более упорядоченном состоянии, возникшем в результате очередного фазового перехода, меньше производства энтропии старого состояния, которое мысленно продолжено в неустойчивую область [17].

На рисунке 13 представлено 2 графика изменения производства энтропии в асфальтобетонном покрытии, относящиеся двум моментам времени: первый из них соответствует состоянию покрытия перед появлением усталостных деструкций, а второй – после их появления. Тогда старому состоянию асфальтобетонного покрытия, которое мысленно продолжено в неустойчивую область будет соответствовать прямая 1, а новому – более упорядоченному состоянию – прямая 2. Как видно из рисунка 13, при всех рассмотренных нагрузках производство энтропии в асфальтобетонном покрытии в новом – более упорядоченном состоянии (прямая 2) меньше производства энтропии старого состояния, которое мысленно продолжено в неустойчивую область (прямая 1).

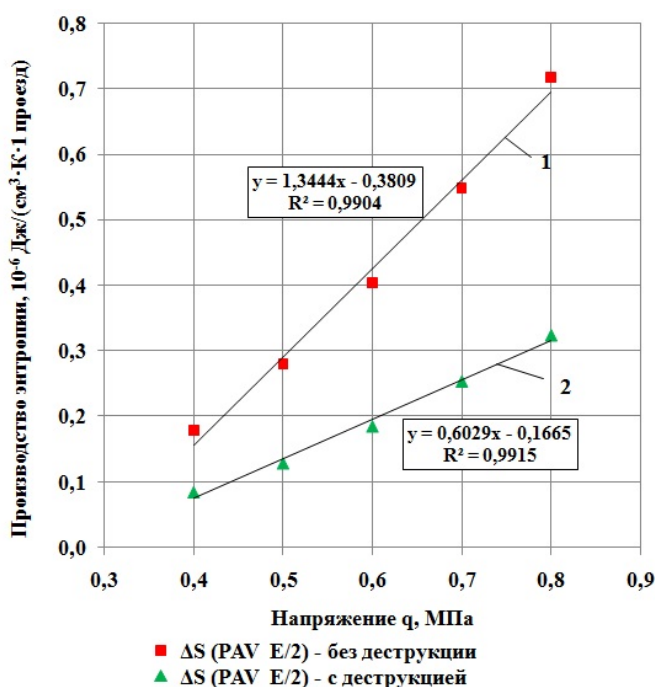


Рисунок 13 – Графики зависимости производства энтропии от величины нагрузки

Таким образом, показано, что при усталостной деструкции соблюдается и принцип Ю. Л. Климонтовича – принцип минимума производства энтропии в процессах самоорганизации.

**Заключение.**

1. Составляющие напряжения и деформации в нижней поверхности второго асфальтобетонного слоя современной конструкции дорожной одежды автомобильной дороги, возникающие под



действием расчетной автомобильной нагрузки, в направлении движения сильно изменяются в зависимости от жесткости асфальтобетонных.

2. Все вычисленные виды энергии деформирования – при мгновенном деформировании, деформировании при длительности нагружения 0,1 с в начальный период эксплуатации и в период эксплуатации с состаренным битумом – сильно зависят от нагрузки и линейно повышаются при увеличении последней.

3. Энергия диссипации и производство энтропии также линейно увеличиваются при повышении нагрузки и также зависят от эксплуатационного состояния покрытия.

4. При усталостной деструкции соблюдаются известные критерии термодинамики необратимых процессов – универсальный критерий Гленсдорфа-Пригожина и принцип Климонтовича.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Телтаев Б.Б. Усталостная деструкция асфальтобетонного покрытия. 1. Самоорганизация и механическое толкование // Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук. 2017. № 3. - С. 1-33.
- [2] Huang Y.H. Pavement Analysis and Design. Second Edition. Pearson Education, Inc. Upper Saddle River. New Jersey. 2004. – 775 p.
- [3] Papagiannakis A.T., Masad E.A. Pavement Design and Materials. John Wiley & Sons Inc. New Jersey. 2008. – 542 p.
- [4] Yoder E.J., Witzack M.W. Principles of Pavement Design. John Wiley & Sons Inc. New Jersey. 1975. – 736 p.
- [5] Christensen D.W., Bonaquist R.F. Improved Hirsch model for estimating the modulus of hot mix asphalt. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists. Vol. 84. 2015.
- [6] Радовский Б.С., Телтаев Б.Б. Вязкоупругие характеристики битума и их оценка по стандартным показателям. – Алматы: «Білім» баспасы, 2013. – 152 с.
- [7] Bagdat Teltayev and Boris Radovskiy. Low Temperature Cracking Problem for Asphalt Pavements in Kazakhstan, Труды 8<sup>th</sup> RILEM International Conference on Mechanisms of Cracking and Debonding in Pavements, Vol.1, 2016, pp. 139-145.
- [8] ARA, Inc, ERES Consultants Division. Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures. Final Report. NCHRP Project 1-37 A. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2004.
- [9] EN 12697-24. Bituminous Mixtures. Test Methods for Hot Mix Asphalt. Part 24: Resistance to Fatigue. European Committee for Standardization. Brussels, Belgium. 2004. 64 p.
- [10] СН РК 3.03-19-2006. Проектирование дорожных одежд нежесткого типа. – Астана, 2007. – 87 с.
- [11] Приварников А.К. Пространственная деформация многослойного основания / Устойчивость и прочность элементов конструкций. – Днепропетровск, 1973. – С. 27-45.
- [12] Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов. – М.: ИЛ, 1960. – 128 с.
- [13] Гленсдорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций. – М.: Мир, 1973. – 281.
- [14] Пригожин И. Время, структура и флуктуации (Нобелевская лекция по химии 1977 года) // Успехи физических наук. 1980. Том 131. № 2. – С. 185-207.
- [15] Климонтович Ю.Л. Турбулентное движение и структура хаоса. – М.: Наука, 1990.
- [16] Базаров И.П. Термодинамика. – С-Петербург: Издательство «Лань», 2010. – 384 с.
- [17] Осипов А.И. Термодинамика вчера, сегодня, завтра. Часть 2. Неравновесная термодинамика // Соросовский образовательный журнал. № 5. 1999. – С. 91-97.

**Б. Б. Телтаев**

Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты, Алматы, Қазақстан

#### АСФАЛЬТБЕТОН ЖАМЫЛҒЫСЫНЫҢ ШАРШАУ ДЕСТРУКЦИЯСЫ. 2. ТЕРМОДИНАМИКА

**Аннотация:** Жұмыста асфальтбетон жамылғысының шаршау деструкциясының бұрын табылған заңдылығы қайтымсыз үдерістер термодинамикасының белгілі критерийлерінің – Гленсдорф пен Пригожиннің эмбебап критерийі мен Ю.Л. Климонтовичтың энтропия өндірісінің минимумы принципінің орындалуын көрсету арқылы дәлелденеді. Өртүрлі деңгейлі автомобиль күші әсер еткендегі энтропия өндірісінің мәндері автомобиль жолының асфальтбетон жамылғысындағы кернеулер мен деформациялардың мәндері арқылы есептеледі. Кернеулер мен деформациялар төбесіне шеңбердің ауданы бойынша біркелкі таралған статикалық күш түсірілген көпқабатты серпімді жартыкеңістікке арналған А.К. Приварниковтың шешімін пайдаланып анықталды. Кернеулер мен деформацияларды санау үшін екі асфальтбетон қабаты бар бесқабатты жол төсемінің құрылымы қабылданды.

**Түйін сөздер:** асфальтбетон жамылғысы, шаршау деструкциясы, энтропия өндірісі, Гленсдорф-Пригожин критерийі, Климонтовичтің принципі.

#### Сведения об авторе:

Телтаев Багдат Бурханбайұлы – доктор технических наук, профессор, президент АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», АО «КаздорНИИ», Алматы, Казахстан, e-mail: bagdatbt@yahoo.com

**NEWS**

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES**

ISSN 2224-5278

Volume 4, Number 424 (2017), 170 – 176

**B. V. Fedorov, B. T. Ratov, A. B. Sharauova**

Kazakh national research technical university named after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan.

E-mail:ratov69@mail.ru

**MODEL OF PURIFICATION OF PDC BOLTS  
FOR WALKING WELLS ON OIL-GAS FIELD NAME**

**Abstract.** The geological section of the Uzen oil deposit (Republic of Kazakhstan) is represented by soft rocks, the depth of the wells is small (1200–1400 m). Drilling under the production column is carried out in the interval of 220 m and up to the actual depth of the PDC bits with a diameter of 220.7 mm with diamond-carbide weapons. The greater durability of the bit allows drilling the above interval in several wells. To compile the PDC drillability model, the entire array of performance data for the PDC bits is divided into groups according to the number of drill hole intervals for the ex-column, in which each bit is used prior to its deterioration and replacement. Then the resulting variational series were processed by mathematical statistics methods to obtain the weighted average speed and drilling time of the drilling interval, taking into account the previous bit wear, dispersion, standard deviation and coefficient of variation. As a result, the technique of approximate estimation of the process of bit wear PDC is obtained after the penetration of each interval under the column, taking into account its previous use. A mathematical model of drillability has been established, which takes into account the initial mechanical speed of the new, unused bit, the rate of decrease in the rate of flow as the bit is used, and the exponent in which the drilling time is being built.

A similar model of drillability is also made for roller bits used earlier in the Uzen field. A comparative evaluation of both instruments showed that the durability of the PDC bit exceeds the cone crusher by 7 times, and by productivity - by 1.6-1.8 times.

**Keywords:** model of drillability, RDS bit, soft rocks, Uzen deposit, mathematical statistics, wear.

УДК 628.243.2

**Б. В. Федоров, Б. Т. Ратов, А. Б. Шарауова**

Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева,

Алматы, Казахстан

**МОДЕЛЬ БУРИМОСТИ ДОЛОТАМИ PDC  
ДЛЯ ПРОХОДКИ СКВАЖИН  
НА НЕФТЕГАЗОВОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ УЗЕНЬ**

**Аннотация.** Геологический разрез нефтяного месторождения Узень (Республика Казахстан) представлен мягкими породами, глубина скважин небольшая (1200–1400 м). Бурение под эксплуатационную колонну осуществляется в интервале 220 м и до проектной глубины долотами PDC диаметром 220,7 мм с алмазно-твердосплавным вооружением.

Большая стойкость долота позволяет бурить упомянутый интервал в нескольких скважинах.

Для составления модели буримости PDC весь массив данных о производительности долотами PDC разделен на группы по количеству интервалов бурения под эксколону, в которых использовано каждое долото до его износа и замены. Затем полученные вариационные ряды обрабатывались методами математической статистики с получением средневзвешенной скорости и времени бурения интервала бурения с учетом предшествующего износа долота, дисперсии, среднего квадратического отклонения и коэффициента вариации. В результате получена методика приближенной оценки процесса износа долота PDC после проходки каждого

интервала под экс колонну с учетом предыдущего его использования. Установлена математическая модель буримости, учитывающая начальную механическую скорость новым, неиспользованным ранее долотом, темп снижения скорости проходки по мере использования долота и показатель степени, в которую возводится время бурения.

Подобная модель буримости составлена также для шарошечных долот, применяющихся ранее на месторождении Узень. Сравнительная оценка обоих инструментов показало, что стойкость долота PDC превосходит шарошечные в 7 раз, а по производительности – в 1,6–1,8 раза.

**Ключевые слова:** модель буримости, долото PDC, мягкие породы, месторождение Узень, математическая статистика, износ.

**Введение.** Модель буримости представляет аналитическую зависимость, отражающую процесс взаимодействия породоразрушающего инструмента с забоем скважины во времени.

Удачно установленная модель буримости всегда учитывает основные факторы, влияющие на углубление скважины. Она позволяет прогнозировать работу долота, формировать скважину с наименьшими удельными эксплуатационными затратами и оптимизировать буровой процесс.

Наиболее известной моделью буримости является следующая [1]:

$$v(t) = v_0 \exp(-\beta t), \quad (1)$$

где  $v(t)$  – скорость бурения в момент времени  $t$ ;  $v_0$  – начальная скорость бурения (формально при  $t=0$ );  $\beta$  – постоянная, зависящая от параметров режима бурения, конструкции долота и свойств горной породы.

Другая известная модель буримости выглядит следующим образом [2]:

$$v(t) = v_0 - \Delta v t^m, \quad (2)$$

где  $\Delta v$  – темп снижения механической скорости;  $m$  – показатель степени, от величины которого зависит характер изменения скорости бурения: с постоянным снижением скорости ( $m=1$ ); нарастающей интенсивностью снижения  $v(t)$  ( $m>1$ ); с замедленной интенсивности падения  $v(t)$  ( $m<1$ ).

Существуют и другие модели буримости, относящиеся главным образом к работе шарошечного долота в породах любой твердости и абразивности [3, 4], модель Р.А.Бадалова [3], модель Р.М.Эйгелеса [4] и другие. Однако все они описывают взаимодействие шарошечного долота с забоем скважины. Учитывая конструкцию упомянутых долот, их стойкость делают соответствующие выводы о технологической проходке скважин.

Например, из рекомендаций В.С. Федорова [6] и других авторов следует, что если шарошечное долото более чем вдвое снизило скорость в сравнении сначальной, то его следует поднять из скважины и заменить новым.

Однако с появлением современных типов долот, отличающихся другими принципами разрушения горных пород, высокой износостойкостью и большой производительностью, упомянутые выше рекомендации о времени смены долота вызывают большие сомнения в их правомерности. Это в полной мере относится к долотам PDC (polycrystalline diamond cutter), вооруженным алмазно-твердосплавным вооружением [1].

Долота PDC нашли широкое применение при бурении нефтегазовых скважин. Такие показатели, как проходка на долото, механическая скорость и стойкость, кратно выше в сравнении с шарошечными долотами. Эти данные получены при разбуривании мягких пород и пород средней твердости, таких, как мел, мергель, глины, глинистые сланцы, алевролиты, малоабразивные известняки, песчаники и др. При бурении таких пород проходка на долото PDC достигает 5000 м [1]. Именно в таких горно-геологических условиях осуществляется бурение нефтяных скважин при эксплуатации месторождения Узень.

Буровые работы осуществляет ТОО «Бургылау», являющееся дочерней компанией АО «Озеньмунайгаз». Фрагмент геолого-технического наряда на бурение нефтедобывающей скважины показан на рисунке 1. Как следует из описания пород, все они относятся к вышеупомянутой группе, где применение долот PDC наиболее эффективно. Конструкция скважин включает направление, кондуктор и эксплуатационную колонну.

Длина основного интервала (от 220 м до проектной глубины) занимает до 85% от общего метража скважины.

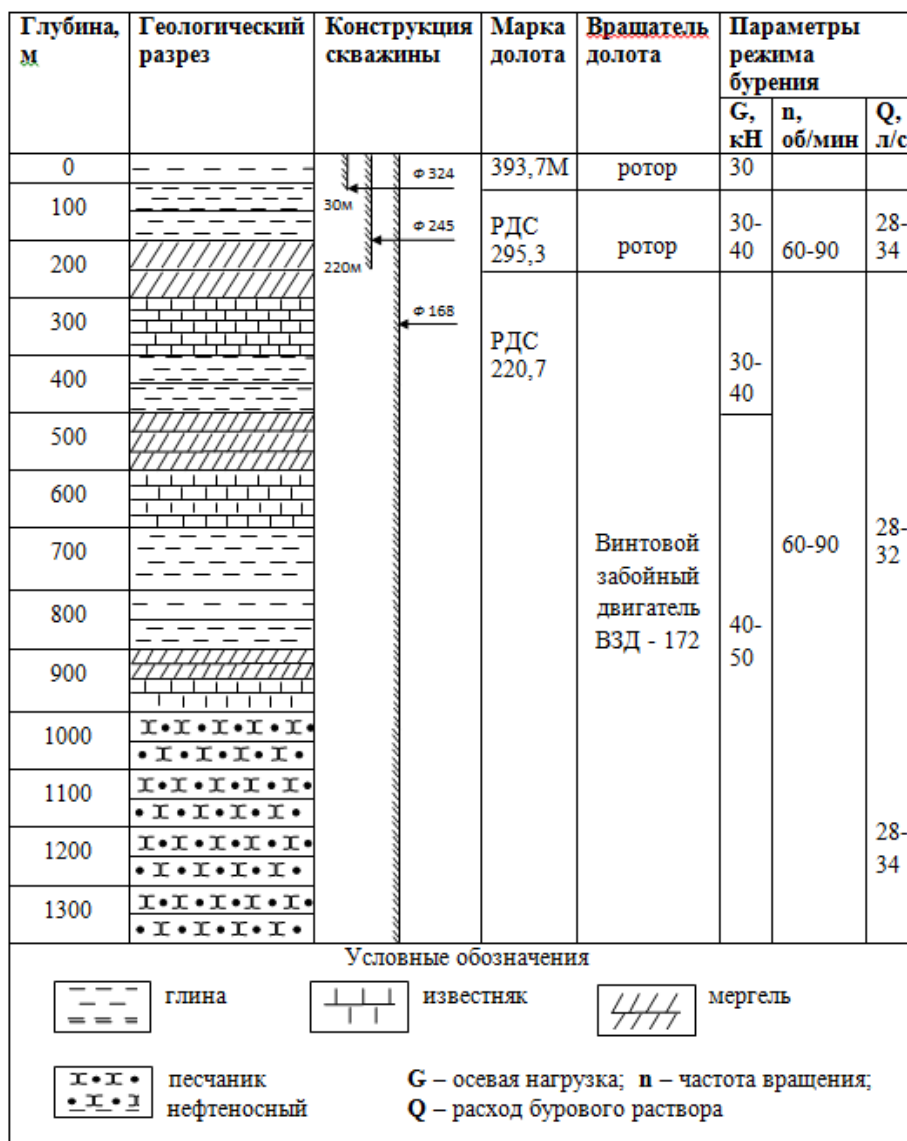


Рисунок 1 – Фрагмент геолого-технического наряда (ГТН) для бурения нефтедобывающей скважины (месторождение Узень)

Figure 1 – A fragment of the geological and technical order (Geological Engineering Sciences) for drilling an oil well (Uzen deposit)

Для вращения долота PDC 220,7 мм при бурении упомянутого интервала под эксплуатационную колонну используется винтовой забойный двигатель Д-172, имеющий крутящий момент по валу 6000–6500 Нм при частоте вращения 3-3,7с<sup>-1</sup>. Это позволило значительно снизить нагрузки на бурильную колонну и облегчило проведение скважины по проектной вертикальной трассе.

**Целью работы** является установление зависимости механической скорости бурения от времени, т.е. от начала использования долота PDC до момента выработки его полного ресурса, когда скорость проходки снижается до 1,5–2 м/ч. Аналитически установленная модель буримости позволит прогнозировать показатели бурового процесса и в дальнейшем оптимизировать его параметры. Своеобразие задачи заключается в том, что при сравнительно небольшой глубине буримых скважин (1200–1400 м) ресурс долота PDC позволяет пробурить 4–5 скважин до его износа. Другими словами, необходимо установить, как изменяется скорость при проходке первой скважины новым, неиспользованным ранее долотом, затем установить ту же зависимость при бурении второй скважины с учетом износа долота при формировании первой скважины, далее подобная зависимость устанавливается при бурении третьей скважины с учетом ранее произошедшего износа инструмента и т.д. до полного износа долота.

Задача облегчается тем, что, судя по геологическому разрезу, породы однородные, имеют примерно одинаковую буримость, о чем, в частности, свидетельствуют малоизменяемые величины параметров технологического режима бурения пересекаемых пластов, указанных в геолого-техническом наряде.

Предметом исследования изменения скорости бурения от времени стал самый длинный интервал скважины, который бурится под эксплуатационную колонну.

Исходными данными для исследований послужили следующие материалы ТОО «Бургылау»:

- максимальная начальная скорость бурения новым долотом PDC по породам разреза составляет 19 м/ч;
- минимальная скорость бурения долотом PDC, выработавшей свой ресурс, составляет 1,5-2 м/ч;
- данные о механической скорости бурения исследуемого интервала  $/(220-1340)/\text{м}$  (1340 м – средняя глубина) по 116 скважинам, имеющим геологический разрез, аналогичный показанному на рисунке 1;
- примерный ресурс долота PDC, составляющий 4500–5000 м, т.е. такой ресурс достаточен для бурения указанного интервала в 4-х скважинах.

Для составления модели буримости все скважины, в которых исследуемый интервал разбуривался долотом PDC 220,7, разделены на группы. В первую группу вошли скважин, в которых упомянутый интервал разбуривался новыми, не использованными ранее долотами PDC, во вторую группу – скважины, в которых упомянутый интервал разбуривался долотами, которые ранее применяли только при бурении в первой группе скважин, в третьей группе сгруппированы скважины, в которых тот же интервал разбуривался долотами, ранее применявшимися в скважинах первой и затем второй групп, в четвертую группу вошли скважины, в которых интервал разбуривался долотом PDC, применявшимися ранее в скважинах первой, второй и третьей групп.

Величины скоростей бурения, входящих в каждую группу скважин, представляют вариационный ряд. В соответствии с методикой, изложенной в работах [7, 8], вычислены основные показатели вариационного ряда данных, входящих в каждую группу скважин: средняя скорость бурения  $V_{\text{ср}}$ , дисперсия  $D$ , среднее квадратическое отклонение  $\sigma$ , коэффициент вариации  $V$ . Указанные показатели приведены в таблице.

Показатели статистической обработки скорости бурения долотами PDC по группам скважин

№ гр. скважин	Количество скважин в группе	Изменение скорости бурения, м/ч	Средняя скорость бурения $V_{\text{ср}}$ , м/ч	Время бурения интервала $t_n$ , ч	Дисперсия $D$	Среднее квадратическое отклонение $\sigma$	Коэффициент вариации $V$
1	21	19-14	17,0	64,6	0,25	0,7	0,047
2	60	14-12	13,05	78,1	0,16	0,58	0,052
3	20	12-8	10,5	97,6	0,122	0,46	0,048
4	15	8-6,5	6,98	133,6	0,09	0,41	0,056
Итого	116						

При бурении исследуемого интервала, как новым долотом PDC (1-ая группа скважин), так и использование этих же долот последовательно в следующих группах скважин приводит к постепенному их износу с уменьшением ресурса работы.

Выполним приближенную оценку процесса износа долота PDC. При бурении пород новым долотом (1-ая группа скважин) механическая скорость с  $V_{\text{max}} = 19$  м/ч упала до  $V_{\text{min}} = 14$  м/ч (таблица). Главной причиной такого процесса является износ долота,  $A_{u1}$ , который ориентировочно можно определить из уравнения:

$$A_{u1} = (1 - V_{\text{min1}} / V_{\text{max1}}) 100\% \quad (3)$$

После подстановки данных из таблицы в (3) получим:  $A_{u1} = (1 - 14/19) 100\% = 26,3\%$ ; во второй группе с учетом износа долота в 1-ой группе  $A_{u2} = A_{u1} + (1 - 12/14) 100 = 40,6\%$ , в третьей группе с учетом предыдущего износа  $A_{u3} = A_{u1} + A_{u2} + (1 - 8/12) 100 = 74\%$

На заключительном этапе при бурении интервала в 4-ой группе скважин износ долота достигнет величины равной  $A_{u4} = A_{u1} + A_{u2} + A_{u3} = 74 + (1 - 6,5/8) 100\% = 94\%$

Таким образом, ресурс долота PDC после бурения четвертой скважины (интервал 220-1340 м) почти выработан. Одним новым долотом пройдено:  $(1340-220) \times 4 = 4480$  м. скважин, что в целом подтверждается практикой бурения нефтегазовых скважин на месторождении Узень.

Полученные данные о скорости бурения каждой группы позволяют установить модель буримости долотом PDC. Время бурения скважин из каждой группы под номером  $n$  определяется:

$$t_n = S_{\text{инт}} / V_{\text{срп}}, \quad (4)$$

где  $S_{\text{инт}}$  – длина пробуренного интервала в каждой группе скважин  $S_{\text{инт}} = 1120$  м;  $V_{\text{срп}}$  – скорость бурения, соответствующая длине интервала в  $S_{\text{инт}}$  группе под номером  $n$  ( $n=1, 2, 3, 4$ ). Время бурения интервала ствола под эксколонну в зависимости от степени износа долота приведено для каждой групп скважин в таблице.

Вычисления по (4) показывают, что новым долотом PDC основной интервал скважины (220-1380 м) проходится за 64,6 часа (2,7 суток). При бурении 2-ой скважины тот же интервал проходится за 78 часа (3,25 суток) при суммарном износе долота 40,6%. Тот же интервал при бурении в 3-ей скважины пройден за 97,6 часа (4,1 суток) при суммарном износе долота 74% и, наконец, при проходке упомянутого интервала в 4-ой скважине затрачено 133,6 часа (5,57 суток), а суммарной износ инструмента составил 94%. Оставшиеся 6% ресурса долота, судя по крутизне графика функции  $v = f(t)$  на заключительном этапе бурения интервала в 4-ой скважине круто уходит вниз, что говорит об ускоренном износе ресурса долота по воокружению буквально в течение 15-20 часов работы.

С учетом данных скорости бурения долот PDC и соответствующем времени пребывания долота на забое, получена зависимость  $V=f(t)$ , изображенная на рисунок 2.

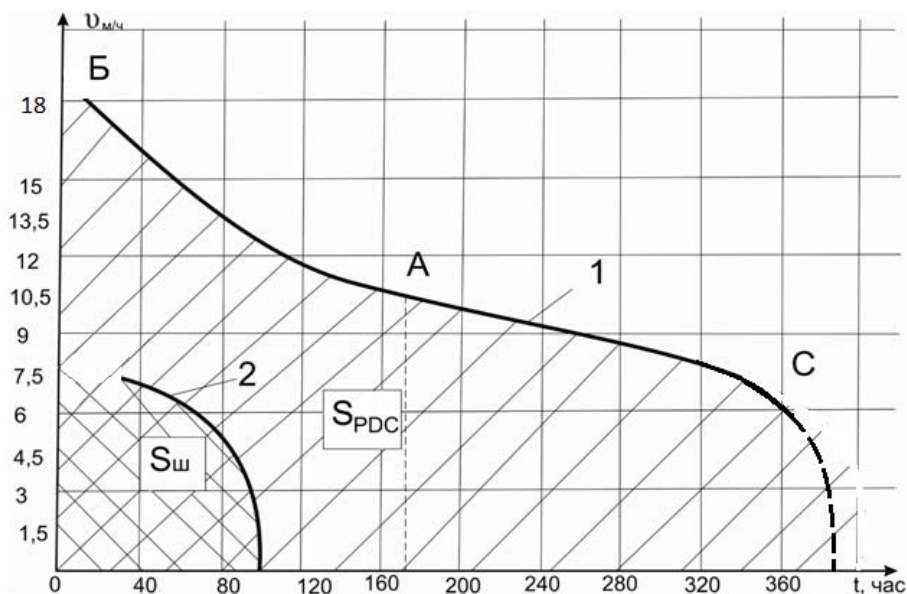


Рисунок 2 – Зависимость скорости и бурения долотом PDC ( кривая 1) и шарошечного долотом III- 215,9 НАТ (КНР) в зависимости от времени  $t$  их работы на забое

Figure 2 – Dependence of speed and drilling with the PDC bit (curve 1) and roller bit III-215.9 NAT (China), depending on the time  $t$  of their work at the bottom

Из анализа графика функции  $V=f(t)$  следует, что верхняя часть кривой БА вогнута, а нижняя АС выпукла.

Полученные зависимости хорошо аппроксимируется уравнением параболы следующего вида; состоящей из двух сопряженных кривых:

$$\text{Кривая БА: } v = 1,02 * 10^{-4}t^2 - 7,04 * (10^{-2})t + 19,2; (0 < t < 170) \quad (5)$$

$$\text{Кривая АС: } v = 8,17 * (-10^{-4})t^2 + 2,402 * 10^{-2}t + 8,278; (170 < t < 360) \quad (6)$$

Модель буримости будем искать в виде уравнения (2), где в качестве констант идентификации используется начальная скорость  $V_0$ , темп снижения механической скорости проходки  $\Delta V$  и показатель степени  $m$ , в которую возводится время бурения  $t$ . Так как кривая  $V=f(t)$  имеет точку перегиба (точка А на рисунке 2), то модель буримости будут выражены двумя математическими уравнениями.

Константы  $\Delta V$  и  $m$  определены по методике, изложенной в работе [1] и для рассмотренных условий равны:

для верхней части БА кривой  $V=f(t)$ :

$$\Delta V = 0,107 \text{ м/ч}; m = 0,83; V_0 = 19 \text{ м/ч},$$

для нижней части АС кривой  $V'=f(t)$ :

$$\Delta V = 0,037 \text{ м/ч}; m = 0,87; V_0 = 10,4 \text{ м/ч}.$$

Таким образом, модели буримости выглядят следующим образом:

$$V_t = 18 - 0,107t^{0,83}, \quad (7)$$

где  $t$  изменяется в интервале  $0 \leq t \leq 170$  ч,

$$V_t = 10,5 - 0,037t^{0,87}, \quad (8)$$

где  $t$  изменяется в интервале  $170 \leq t \leq 370$  ч. – бурение основного интервала в скважинах 3-ей и 4-ой групп.

Из (7 и 8) следует, что темп снижения механической скорости  $\Delta V$  при бурении новым долотом в 1-ой группе скважин значительно выше, что, очевидно, связано с конфигурацией алмазно-твердосплавных пластин, которыми армировано долото PDC.

Первоначально бурение на месторождение Узень осуществляли роторным способом. Формирование скважины под эксплуатационную колонну проводилось с применением шарошечных долот III-215,9 НАТ китайского производства при следующих параметрах технологического режима: осевая нагрузка на долото – 160-180 кН; частота вращения долота – 90 аб/мин; расход бурового раствора – 28 л/с.

Анализ технологической документации (режимно-технологические карты, геолого-технической наряд) установили следующие показатели бурения применяемых шарошечных долот:

- начальная механическая скорость бурения  $\vartheta_0 = 8$  м/с;
- средняя скорость бурения  $\vartheta_{op} = 6,5$  м/с;
- средняя проходка на долото  $S_{ш} = 630$  м;
- время работы долота на забое – 95-100 ч;

Обработка результатов по такой же методике, которая применялась для долот PDC, позволяет определить следующую модель буримости для применявшихся долот III-215,9 НАТ (КНР):

$$\vartheta_t = 8 - 0,018 t^{1,3} \text{ м/ч} \quad (9)$$

На рисунке 2 приведена кривая 2, графически отображающая модель буримости (9) шарошечными долотами. Следует отметить, что заштрихованные площади  $S_{ш}$  и  $S_{PDC}$  под кривыми 1 и 2, означают стойкость соответствующих инструментов. Следовательно, в условиях буровых работ на месторождении Узень долота PDC значительно превосходят шарошечные долота, как по производительности, так и по износостойкости. Кроме того, при использовании долот PDC резко снижаются затраты на СПО, уменьшается износ буровых труб.

#### Выводы:

1. Сопоставление моделей буримости долотами PDC и шарошечными долотами показал несомненное преимущество долот PDC в условиях бурения скважин на месторождении Узень (мягкие и средней твердости неабразивные породы). Так, по стойкости долота PDC превосходят шарошечные в 7 раз, а по производительности – в 1,5–1,6 раза.

2. Предложен приближенный метод определения износа многократно используемого долота PDC, основанный на измерении отношения падения скорости бурения на мерном интервале углубки скважины.

3. Дальнейшие работы будут направлены на прогнозирование показателей бурения долотами PDC в течение рейса, а также на целенаправленное регулирование режима формирования скважины с наименьшими эксплуатационными затратами.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Попов А.Н., Спивак А.И. и др. Технология бурения нефтяных и газовых скважин. – М.: Недра, 2007. – 508 с.
- [2] Левицкий А.З. Исследование данных геолого-технического контроля для оптимизации бурения. – М.: ВНИИОЭНГ, 1987. – 42 с.
- [3] Бадалов Р.А. Развитие методик и разработки программных средств оптимизации бурения: Автореферат докторской диссертации. – М., 2014.
- [4] Эйгелес Р.М., Стрекалова Р.В. Расчет и оптимизаций процессов бурения скважин. – М.: Недра, 1977.
- [5] Калинин А.Г., Оганов А.С. и др. Строительство нефтегазовых скважин. – М.: РГУ им. Губкина, 2013. – 580 с.
- [6] Федоров В.С. и др. Практические расчеты в бурении. – М.: Недра, 1986.
- [7] Танатаров Т.Т., Билецкий М.Т. Основы научных исследований и оптимизации в бурении. – Алматы: РИК, 1998. – 291 с.
- [8] Ганджумян Р.А. Математическая статистика в разведочном бурении. – М.: Недра, 2013. – 210 с.
- [9] Ситников Н.Б. Моделирование и оптимизация процессов бурения геологоразведочных скважин: Автореферат докторской диссертации. – Екатеринбург, 2000.
- [10] Долгушин В.В. Развитие методологии моделирования процессов технологии бурения и скважинных механизмов: Автореферат докторской диссертации. – Тюмень, 2008.
- [11] Шиповский К.А. Методика оптимизации процессов строительства скважины на основе моделирования строительства скважины // Журнал «Бурение и нефть».
- [12] Козловский Е.А. Оптимизация процесса разведочного бурения. – М.: Недра, 1990.
- [13] Егоров И.С. Использование прогнозных формул механической скорости бурения в экспериментальных исследованиях // Сборник научных трудов: Разработка и совершенствование технологий.

REFERENCES

- [1] Popov A.N., Spivak A.I. i dr. Tehnologija burenija neftjanyh i gazovyh skvazhin. M.: Nedra, 2007. 508 p.
- [2] Levickij A.Z. Issledovanie dannyh geologo-tehnicheskogo kontrolja dlja optimizacii burenija. M.: VNIIOJeNG, 1987. 42 p.
- [3] Badalov R.A. Razvitie metodik i razrabotki programmyh sredstv optimizacii burenija: Avtoreferat doktorskoj dissertacii. M., 2014.
- [4] Jejegeles R.M., Strekalova R.V. Raschet i optimizacij processov burenija skvazhin. M.: Nedra, 1977.
- [5] Kalinin A.G., Oganov A.S. i dr. Stroitel'stvo neftegazovyh skvazhin. M.: RGU im. Gubkina, 2013. 580 p.
- [6] Fedorov V.S. i dr. Prakticheskie raschety v burenii. M.: Nedra, 1986.
- [7] Tanatarov T.T., Bileckij M.T. Osnovy nauchnyh issledovanij i optimizacii v burenii. Almaty: RIK, 1998. 291 p.
- [8] Gandzhumjan R.A. Matematicheskaja statistika v razvedochnom burenii. M.: Nedra, 2013. 210 p.
- [9] Sitnikov N.B. Modelirovanie i optimizacija processov burenija geologorazvedochnyh skvazhin: Avtoreferat doktorskoj dissertacii. Ekaterinburg, 2000.
- [10] Dolgushin V.V. Razvitie metodologii modelirovanija processov tehnologii burenija i skvazhinnyh mehanizmov: Avtoreferat doktorskoj dissertacii. Tjumen', 2008.
- [11] Shipovskij K.A. Metodika optimizacii processov stroitel'stva skvazhiny na osnove modelirovanija stroitel'stva skvazhiny // Zhurnal «Burenie i neft'».
- [12] Kozlovskij E.A. Optimizacija processa razvedochnogo burenija. M.: Nedra, 1990.
- [13] Egorov I.S. Ispol'zovanie prognoznyh formul mehanicheskoj skorosti burenija v jeksperimental'nyh issledovanijah // Sbornik nauchnyh trudov: Razrabotka i sovershenstvovanie tehnologii.

**Б. В. Федоров, Б. Т. Ратов, А. Б. Шарауова**

Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

**ӨЗЕН МҰНАЙГАЗ КЕН ОРНЫН PDC ҚАШАУЫ МЕН ҰҢҒЫНЫ БҰРҒЫЛАУДЫҢ МОДЕЛІ**

**Аннотация.** Өзен (Қазақстан Республикасы) мұнай кен орнының геологиялық кимасында жұмсақ тау жыныстары көрсетілген, ұңғы тереңдігі аз (1200-1400). Пайдалану тізбегін бұрғылау 220 м аралығында жүргізіледі және жобаланған тереңдікке дейін 220,7 мм алмазды-қатты қорытпалы PDC қашауымен жеткізіледі. Қашаудың беріктігі ескерілген аралықта бірнеше ұңғыны бұрғылауға мүмкіндік береді. PDC қашауының бұрғылау моделін құрастыру үшін PDC қашаудың өнімділігі бойынша барлық мәліметтер құрамы пайдалану тізбегін бұрғылау аралықтарының саны әр қашаудың тозуы және ауыстырылуы бойынша топтарға бөлінген. Соңынан орта салмақты жылдамдықпен, алдын ала қашаудың тозу есебімен, дисперстер, орта квадраттық ауытқу және вариация коэффициентін математикалық сраптау әдістерімен вариациялық қатар алынған. Нәтижеде пайдалану тізбегін әр бұрғылау аралығынан кейін оның алдыңғы пайдаланған PDC қашауларының тозу үрдісін жуықталған бағалау әдісі алынған. Бұрғылау кезінде болатын қашауды пайдалану шарасы және көрсеткіш дәрежесі бойынша бұрын қашаумен қолданылмаған жаңа бастапқы механикалық жылдамдық, бұрғылау жылдамдығының төмендеуі ескере отырып бұрғылау моделі анықталған. Бұл бұрғылау моделі Өзен кен орнында бұрын қолданылған шарошқалы қашаулар үшін де жасалған. Екі аспапты салыстырмалы бағалау PDC қашауларын шарошқалы қашаулардан 7 есе берік және өнімділігі бойынша 1,6-1,8 есе жоғары екенін көрсетті.

**Түйін сөздер:** бұрғылау моделі, PDC қашауы, жұмсақ тау жынысы, Өзен кен орны, математикалық статистика, тозу.



**NEWS**  
OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
**SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES**

ISSN 2224-5278

Volume 4, Number 424 (2017), 177 – 183

**V. M. Shevko<sup>1</sup>, D. K. Aytkulov<sup>2</sup>, B. B. Atamkulov<sup>3</sup>, K. S. Izbaskhanov<sup>4</sup>, M. A. Naimanbaev<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>South-Kazakhstan state university named after M. Auezov, Shymkent, Kazakhstan,

<sup>2</sup>I. Satpaev Institute of Geological Sciences, Almaty, Kazakhstan,

<sup>3</sup>Ministry of Defense and Aerospace Industry of the Republic Kazakhstan, Astana, Kazakhstan,

<sup>4</sup>JSC "Tau-Ken Samruk", Astana, Kazakhstan,

<sup>5</sup>JSC "Institute of Metallurgy and Enrichment", Almaty, Kazakhstan.

E-mail: shevkovm@mail.ru, dos.ait.58@mail.ru

**COMPLEX ELECTROTHERMIC PROCESSING  
OF THE POOR OXIDE ORE OF THE ACHISAY DEPOSIT**

**Abstract.** In view of the obvious shortcomings in the waelz processing of oxide ores (significant coke consumption, long duration, formation of a clinker, irrationality of ore processing with  $\leq 5\%$  Zn), the problem in zinc metallurgy is the complex processing of poor oxide ores.

In the article are given results of researches on processing of poor carbonate ore of Achishai deposit containing 3.2-5.5% Zn. The research were carried out using the thermodynamic modeling method using the HSC-5.1 (based on the principle of minimum Gibbs energy) software package and the electric melting in an arc furnace. It was found that the equilibrium interaction of ore with carbon is characterized by the formation of FeSi ( $T \geq 1500$  °C), Si ( $T \geq 1600$  °C), calcium carbide ( $T \geq 1800$  °C) and Zn gas ( $T \geq 800$  °C); The equilibrium degree of extraction of silicon from ore into the alloy at 87-94% is observed at 1900-2100 °C, calcium in CaC<sub>2</sub>-72-77.2% at 2000-2100 °C, zinc in gas 95-99.9% at 1700-2100 °C, Ca in CaC<sub>2</sub>-72-77.2% at 2000-2100 °C, Zn in gas 95-99.9% at 1700-2100 °C. Electric melting of ore in a mixture with coke allows obtaining a ferroalloy with a content of 12-19% Si and calcium carbide with a displacement of 210-260 l/kg; In the presence of quartzite, the Si content in the alloy increases to 32-33%, the carbide in carbide in this case is 150-190 l/kg. The degree of extraction of zinc in sublimation at electric melting was 97-99%. The proposed method for processing oxide zinc ore allows us to extract not only Zn, Pb Cd, but also Fe, Si, Ca. Thus, the degree of integrated use of raw materials is significantly increased.

**Key words:** poor oxide ores, recovery, thermodynamic modeling, electric smelting, ferroalloy, calcium carbide, zinc sublimes.

УДК 669.052

**В. М. Шевко<sup>1</sup>, Д. К. Айткулов<sup>2</sup>, Б. Б. Атамкулов<sup>3</sup>, К. С. Избасханов<sup>4</sup>, М. А. Найманбаев<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,

<sup>2</sup>Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан,

<sup>3</sup>Министерство оборонной и аэрокосмической промышленности РК, Астана, Казахстан,

<sup>4</sup>АО «Тау-Кен Самрук», Астана, Казахстан,

<sup>5</sup>АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан

**КОМПЛЕКСНАЯ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА  
БЕДНОЙ ОКСИДНОЙ РУДЫ АЧИСАЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

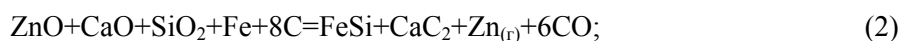
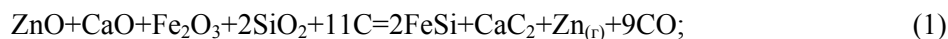
**Аннотация.** В виду очевидных недостатков вельцевания оксидных руд (значительный расход кокса, большая продолжительность, образование отвального клинкера, нерациональность переработки руды с  $\leq 5\%$ Zn) проблемой в металлургии цинка является комплексная переработка бедных оксидных руд. В статью приводятся результаты исследований по переработке бедной карбонатной руды месторождения Ачисай,

содержащей 3,2-5,5%Zn восстановительно-возгоночной плавкой. Исследования проведены методом термодинамического моделирования с использованием программного комплекса HSC-5.1 (основанного на принципе минимума энергии Гиббса) и электроплавкой в дуговой печи. Найдено, что равновесное взаимодействие руды с углеродом характеризуется образованием FeSi ( $T \geq 1500$  °C), кремния ( $T \geq 1600$  °C), карбида кальция ( $T \geq 1800$  °C) и газообразного цинка ( $T \geq 800$  °C); Равновесная степень извлечения кремния из руды в сплав на уровне 87-94% отмечается при 1900-2100°C, кальция в карбид кальция-72-77,2% при 2000-2100 °C, цинка в газ 95-99,9% при 1700-2100°C. Электроплавка руды в смеси с коксом позволяет получить ферросплав с содержанием 12-19% Si и карбид кальция литражом 210-260 л/кг; в присутствии кварцита содержание Si в сплаве возрастает до 32-33%, литраж карбида при этом составляет 150-190 л/кг. Степень извлечения цинка в возгоны при электроплавке составила 97-99%. Предлагаемый способ переработки оксидной цинковой руды позволяет извлечь в продукцию не только цинк, свинец, кадмий, но также и железо, кремний, кальций. Тем самым значительно повышается степень комплексного использования сырья.

**Ключевые слова:** бедные оксидные руды, восстановление, термодинамическое моделирование, электроплавка, ферросплав, карбид кальция, цинковые возгоны.

При добыче шахтным способом оксидной цинксоодержащей руды Ачисайского месторождения в отвалы было складировано более 1 млн.т. некондиционной руды с невысоким содержанием цинка. Основным методом переработки оксидных цинксоодержащих руд является вельцевание, которое проводится во вращающихся печах в присутствии 46-49% кокса от массы руды (или смеси руды и шлака) [1]. Несмотря на довольно высокое извлечение металлов из сырья (93-94 % Zn, 96-98%Pb) и опубликованные изобретения, позволяющие улучшить технико-экономические показатели процесса вельцевания [2-3], этот метод характеризуется большей продолжительностью (2-3 ч), образованием отхода - клинкера, выход которого составляет 51-59% от массы шихты. С клинкером кроме этого теряется до 15-30% кокса [1]. Вельцеванием экономически нецелесообразным становится переработка сырья с содержанием  $Zn < 5\%$  [1, 4-6]. Гидрометаллургические методы (например, выщелачивание раствором серной кислоты) позволяет извлечь цинк до 90%. Однако при этом формируется отвальный кек [7-11].

В статье приводятся результаты исследований комплексной переработки бедной Ачисайской руды (БАР) с низким содержанием Zn на основе нового способа, позволяющего получать, в соответствии с [12], из руды ферросплав, карбид кальция с одновременной отгонкой цинка, в соответствии с реакциями:



которые с термодинамической точки зрения становятся возможны соответственно при температуре 1452 и 1664К.

Методика. Сырье. Термодинамическое моделирование взаимодействия бедной руды месторождения Ачисай проводилось с использованием программного комплекса HSC-5.1, разработанного финской металлургической компанией Outokumpu [13]. Разработчики программного комплекса HSC-5.1 Chemistry (Outokumpu) основывались на идеологии консорциума SGTE (Scientific Group Thermodata Europe), которая занимается созданием, поддержкой и распространением высококачественных баз данных, предназначенных для расчета равновесного состава химически реагирующих систем. В состав SGTE входят специализированные научные центры Германии, Канады, Франции, Швеции, Великобритании и США. В нашей работе для расчета энергии Гиббса использовали подпрограмму ReactionEquations, а для полного термодинамического анализа - подпрограмму EquilibriumCompositions комплекса HSC-5.1. Расчет равновесия в комплексе HSC-5.1 производится на основе принципа минимума энергии Гиббса исходя из выражения:

$$G(x) = \sum_{a=1}^f * \sum_{j=1}^{ia} X_j (C_j + \ln \left( \frac{X_j}{x_a} \right) + \ln \gamma_j) \rightarrow G(x) \min, \quad (3)$$

при ограничениях в виде системы линейных уравнений баланса массы вещества:

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} X_j = b_i, \quad (4)$$

и условия нормировки:

$$\sum_{j=1}^{La} X_j = X_a, \quad (5)$$

где  $f$  - общее число фаз системы;  $B_i$  - общее число независимого компонента  $i$  в системе;  $j_a$  - масса чисел, по независимых компонентов в фазе  $a$  системы;  $n$  - число независимых компонентов системы;  $C_j$  - эмпирическая термодинамическая функция;  $X_a$  - общее число молей фазы  $a$  в системе;  $\frac{X_j}{X_a}$  - мольная доля зависимого  $j$  компонента в фазе  $a$ ;  $Y_j$  - коэффициент активности  $j$  компонента. Параметры равновесия термодинамической системы определяются решением математической задачи о нахождении экстремума с учетом всех ограничений с использованием функций Лангранжа и метода последовательных приближений Ньютона. В отличие от программного комплекса «Астра» используемый нами комплекс HSC-5.1 обладает базой данных примерно в 3 раза больше, чем база данных комплекса «Астара» [14-16].

При работе с комплексом HSC – 5.1 получаемая информация представляется в виде количественного (кг) распределения веществ в исследуемой системе. Затем, на основе этой информации, определялась равновесная степень элемента ( $\alpha_{эл}$ , %) по продуктам взаимодействия.

При моделировании количество углерода рассчитывалось исходя из полного восстановления кремния, железа, цинка, содержащихся в БАР (бедная Ачисайская руда).

Электроплавку шихты, содержащую цинковую руду проводили в одноэлектродной дуговой печи. Перед проведением плавки в печь устанавливали графитовый тигель ( $d=6\text{см}$ ,  $h=15\text{см}$ ) и проводили разогрев его дугой в течение 20-25 мин. Затем в печь загружали первую порцию шихты (200 г). Проплавляли ее в течение 5-6 мин, после чего в печь загружали оставшуюся часть шихты (200 г) и проплавляли ее в течение 25-30 мин. В период плавки сила тока составляла 250-300А, напряжение 45-50В. После электроплавки печь охлаждалась в течение 6 часов. Графитовый тигель извлекали из печи и разбивали. Шлак и ферросплав взвешивали и анализировали на Zn, Fe, Si и Ca. Содержание Si в сплаве ( $C_{Si}$ , %) определяли исходя из плотности сплава ( $\Pi$ ,  $\text{г/см}^3$ ) по формулам [17]:

$$C_{Si}=690,679-545,783\times\Pi+166,151\times\Pi^2-17,467\times\Pi^3 \text{ (при } \Pi=3,52-6,09 \text{ г/см}^3\text{);} \quad (7)$$

$$C_{Si}=130,878-21,232\times\Pi+0,859\times\Pi^2 \text{ (при } \Pi=6,09-7,859 \text{ г/см}^3\text{);} \quad (8)$$

Для анализа исходного сырья и ферросплава использовали растровый электронный микроскоп марки JSM-6490LM (Япония).

Качество получаемого карбида кальция определялось его литражом, т.е. количеством ацетилена, выделившимся при взаимодействии карбида кальция с водой [18]. Литраж полученного карбида кальция ( $L$ , л/кг) определялся по формуле [19]:

$$L = \frac{(p-p_1)\times 273\times V}{(273+t)\times 760\times G} \quad (9)$$

где  $p$  и  $p_1$  – атмосферное давление и упругость паров воды во время опыта мм, рт.ст.;  $V$  – объем выделившегося ацетилена, мл;  $G$  – навеска карбида кальция, г;  $t$  – температура, °С;  $L$  – литраж карбида кальция, л/кг.

Содержание  $\text{CaC}_2$  в техническом карбиде кальция ( $C_{\text{CaC}_2}$ , %) определено по формуле:

$$C_{\text{CaC}_2}=(L/372)\times 100. \quad (10)$$

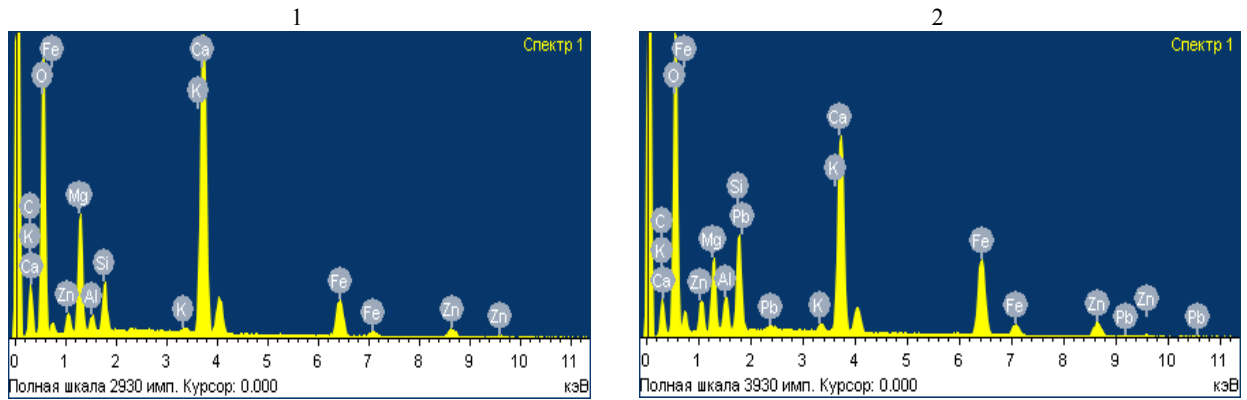
где 372 - количество литров ацетилена, выделяющегося из 100% карбида кальция при 20 °С и давлении 760 мм.рт.ст.

Исследования проводились с использованием БАР, содержащей 3,26-5,56 %Zn, 3,9-8,8%  $\text{SiO}_2$ , 17,26-25,57% CaO. Растровый электронно-микроскопический анализ двух проб БАР приведен на рисунке 1.

Термодинамическим моделированием найдено, что в системе БАР-углерод во взаимодействии, в зависимости от температуры принимают участие 12 веществ: FeSi, FeSi<sub>2</sub>, Fe<sub>3</sub>Si, Fe<sub>3</sub>Si<sub>3</sub>, CaSiO<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>, MgSiO<sub>3</sub>, Si, CaC<sub>2</sub>, Ca, CO, CO<sub>2</sub>. На рисунке 2 дана информация о количественном распределении кремния, кальция и цинка в рассматриваемой системе.

Из рисунка 2 следует, что начало образования FeSi наблюдается при 1500 °С, кремния – при 1600 °С, карбида кальция – при 1800 °С, а газообразного Zn - при 800 °С. Наблюдаемое снижение образования CaC<sub>2</sub> при  $T>2100$  °С объясняется разложением его по реакции [20]:





3

Содержание, %	C	O	Mg	Al	Si	Fe	K	Ca	Zn	Pb
Проба №1	15,57	47,61	6,32	0,73	1,82	6,24	0,20	18,26	3,26	—
Проба №2	13,78	43,84	4,25	1,60	4,11	13,50	0,40	12,33	5,56	0,64

Рисунок 1 – Растрово-электронномикроскопический анализ оксидной бедной руды месторождения Ачисай: 1, 2 – качественный анализ, 3 – количественный анализ

Figure 1 – Raster-electron microscopic analysis of oxide poorore the Achisay deposit: 1, 2 – qualitative analysis, 3 – quantitative analysis

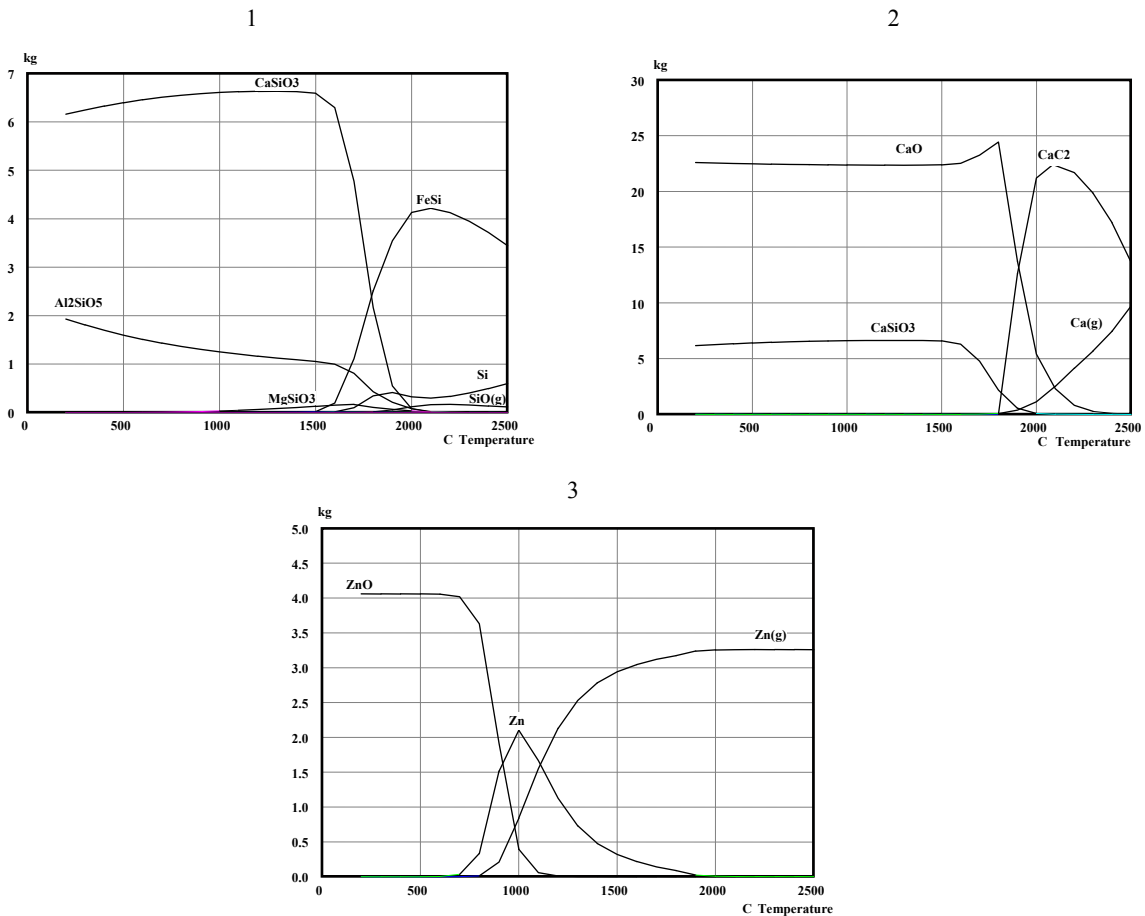


Рисунок 2 – Влияние температуры на количественное распределение веществ, содержащих кремний, кальций, цинк, свинец в системе бедная Ачисайская руда-углерод. Вещества, содержащие: 1 – кремний, 2 – кальций, 3 – цинк

Figure 2 – The effect of temperature on the quantitative distribution of substances containing silicon, calcium, zinc, lead in the poor Achisay ore-carbon system. Substances containing: 1 – silicon, 2 – calcium, 3 – zinc

На основании количественного распределения элементов рассчитана степень извлечения из руды кремния в ферросплав, кальция в  $\text{CaC}_2$ , цинка в газообразное состояние (таблица 1).

Таблица 1 – Влияние температуры на степень извлечения ( $\alpha$ , %) элементов из бедной руды месторождения Ачисай

Table 1 – Effect of temperature on the degree of recovery( $\alpha$ , %) of elements from the poor ore of the Achisay deposit

$\alpha$ , %	Температура, °С							
	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2300
Si в сплав	0,32	4,24	25,89	64,90	87,67	93,56	94,06	94,67
Ca в карбид	0,00	0,00	0,00	0,00	43,16	72,08	77,2	67,71
Zn в газ	90,71	93,25	95,73	97,20	99,31	99,72	99,97	99,98

Из таблицы 1 видно, что извлечение кремния в сплав (87-94%) отмечается в температурной области 1900-2100 °С, кальция в  $\text{CaC}_2$  (72-77,2%) при 2000-2100 °С, цинка в газ (97-99,9%) в температурной области 1800-2100 °С. Концентрация Si в сплаве при 1900-2100 °С составляет 22,8-24,1 %, а Ca в техническом карбиде кальция от 32,3% (T=1900 °С) до 66,7% (T=2200 °С), а его литраж от 119,8 л/кг (T=1900 °С) до 248,1 л/кг (T=2200°С).

Исходя из термодинамического моделирования следует, что комплексная переработка руды (по температурному признаку) будет сдерживаться образованием карбида кальция.

В таблице 2 показаны результаты экспериментальных электроплавов руды с различным содержанием коксовой мелочи.

Из таблицы 2 следует, что в зависимости от количества кокса литраж полученного карбида кальция изменяется от 210 до 260 л/кг, а содержание кремния в сплаве возрастает от 12 до 19%.

Таблица 2 – Влияние кокса ( $G_k$ ) на литраж (L) карбида кальция и содержание кремния в сплаве ( $C_{Si}$ )

Table 2 – Effect of coke( $G_k$ ) on the capacity(L)of the calcium carbide and the silicon content in the alloy( $C_{Si}$ )

$G_k$ , % от массы руды	20	25	30	35	40
L, л/кг	210	248	260	250	230
$C_{Si}$ , %	12	16	19	18,3	19

Для увеличения содержания кремния в сплаве было исследовано влияние количества добавленного к Ачисайской руде кварцита. Кроме того для улучшения извлечения кремния в шихту ввели 10% стальной стружки от массы руды. Количество кокса при плавках вводилось в шихту из расчета 110% от теоретически необходимого для восстановления Zn, Fe, Ca и Zn. В таблице 3 приведены полученные результаты из которой видно, что образующийся ферросплав содержит 18-32% Si (фотография сплава с 24,6%Si представлена на рисунке 3). Причем при увеличении количества кварцита литраж карбида снижается от 190 до 152 л/кг.

Таблица 3 – Влияние кварцита ( $G_{кв}$ ) на литраж карбида кальция и содержание кремния в сплаве

Table 3 – The effect of quartzite( $G_{кв}$ ) on the capacity of the calcium carbide carbide and the silicon content in the alloy

$G_{кв}$ , % от массы руды	5	7	10	15	20	30
L, л/кг	190	186	180	163	152	110
$C_{Si}$ , %	18,1	21,0	24,6	28,9	32,0	33

Рисунок 3 –  
Фотография полученного ферросплава  
(фрагмент)

Figure 3 –  
Photo of the obtained ferroalloy (fragment)



При увеличении количества кварцита до 30% литраж карбида снизился до 110 л/кг, а  $C_{Si}$  увеличилась только до 33%. Поэтому из руды с низким содержанием Zn целесообразно получать ферросплав с содержанием кремния 21-29% и карбид литражом 152-190 л/кг. При получении более качественного карбида литражом 210-280 л/кг, сплав содержит 12-19% Si. Независимо от состава шихты степень извлечения цинка из руды в возгоны составляет 97-99%.

Предлагаемый способ переработки оксидной цинковой руды позволяет извлечь в продукцию не только Zn, PbCd, но также и Fe, Si, Ca. Тем самым значительно повышается степень комплексного использования сырья.

На основании полученных результатов по электроплавке бедных Ачисайский руд можно сделать следующие выводы:

- равновесное взаимодействие руды с углеродом характеризуется образованием FeSi ( $T \geq 1500$  °C), Si ( $T \geq 1600$  °C), карбида кальция ( $T \geq 1800$  °C) и газообразного Zn ( $T \geq 800$  °C); Степень извлечения Si из руды в сплав на уровне 87-94% отмечается при 1900-2100 °C, Ca в  $CaC_2$ -72-77,2% при 2000-2100 °C, Zn в газ 95-99,9% при 1700-2100 °C.

- электроплавка руды в смеси с коксом позволяет получить ферросплав с содержанием 12-19% Si и карбид кальция литражом 210-260 л/кг; в присутствии кварцита содержание Si в сплаве возрастает до 32-33%, литраж карбида при этом составляет 150-190 л/кг.

- степень извлечения цинка в возгоны при электроплавке составила 97-99%.

#### REFERENCES

[1] Abdeev MA, Kolesnikov AV, Ushakov NN (1989) Waelz process of zinc-containing materials [Velcevaniecink soderzhashhihmaterialov]. Moscow, Metallurgy. (In Russian)

[2] Gizatulov OV, Ivakin DA, Kazanbaev LA, Kozlov PA, Kolesnikov AV (2006) Charging material for waelz process of zinc-containing materials [Shihtadljavelcevanijacinksoderzhashhihmaterialov]. Patent of the Russian Federation [Patent RossijskojFederacii]. (In Russian)

[3] Kozlov PA, Panshin AM, Shakirzyanov RM, Zatonsky AV, Leontiev LI, Reshetnikov Yu V, Dyubanov VG, Degtyarev A M, Ivakin D A (2014) Method of waelz process of oxidized zinc-containing materials [Sposob vel'cevanija oksislennyh cinksoderzhashhihmaterialov]. Patent of the Russian Federation [Patent RossijskojFederacii]. (In Russian)

[4] Romanteev Yu P, Fedorov AN, Bystrov SV (2006) Metallurgy of zinc and cadmium [Metallurgijacinka i kadmija]. Moscow, Moscow Institute of Steel and Alloys State Technological University. (In Russian)

[5] Zaitsev V Ya, Margulis EV (1985) Metallurgy of lead and zinc [Metallurgijasvinca i cinka]. Moscow, Metallurgy. (In Russian)

[6] Shevko VM, Karataeva GE (2015) Metallurgy of zinc and cadmium [Metallurgijacinka i kadmija]. Shymkent, South Kazakhstan State University. M. Auezova. (In Russian)

[7] Kazanbaev LA, Kozlov PA, Kubasov VL (2007) Hydrometallurgy of zinc. Leaching processes [Gidrometallurgijacinka. Processyvyshhelachivaniya]. Moscow, Ore and metals. (In Russian)

[8] Bykov RA, Ramazanova RA, Wang E Yu, Gray NV, Mamyachenkov SV (2017) Method of processing of oxidized zinc ore [Sposobpererabotkiokislennojcinkovojrudy]. Patent for utility model of the Republic of Kazakhstan [Patent napoleznuju model Respubliki Kazakhstan]. (In Russian)

[9] Ramazanova RA, Seraya NV, Bykov RA, Mamyachenkov SV (2016) Optimization of processing technology for oxidized zinc containing ores [Optimizacijatehnologiiipererabotkiokislennyhcinksoderzhashhihруд]. Ust-Kamenogorsk, Vestnik of EKSTU. p: 46-55. (In Russian)

[10] Ramazanova R A, Seraya NV, Bykov RA, Mamyachenkov SV, Anisimova OS (2016) Features of Shaimerden deposit Oxidized zinc ore leaching. Metallurgist, p: 629-634

[11] Mamyachenkov SV, Ramazanova RA, Bykov RA, Seraya NV (2016). Evaluation of the process of sulfuric acid leaching of zinc from refractory oxidized zinc ore from the point of view of mathematical modeling [Ocenka processa sernokislotnogo vyshhelachivaniya cinkaiztrudnoobogatimoi okislennojcinkovojrudy s pozicijmatematcheskogodelirovaniya] Complex use of mineral raw materials [Kompleksnoeispolzovaniemineral'nogosyrja], p: 63-66 (In Russian)

[12] Shevko VM, Bishimbaev VK, Serzhanov GM, Kolenikov AS, Tuleev MA (2012) Method of processing of oxide zinc-containing ore [Sposobpererabotkioksidnojcinksoderzhashhejrudy]. Patent of the Republic of Kazakhstan [Patent Respubliki Kazakhstan]. (In Russian)

[13] Roine A (2002) Outokumpu HSS Chemistry for Windows. Chemical Reaction and Equilibrium software with Extensive Thermochemical Database. Pori: Outokumpu Research OY

[14] Trusov BG (1991) Modeling of chemical and phase equilibria at high temperatures [Modelirovaniehimicheskikh i fazovyhravnovesijprivysokih temperaturah]. Moscow, Moscow State University. (In Russian)

[15] Sinyarev GB, Vatolin NA (1982) Computer applications for thermodynamic calculations of metallurgical processes [PrimenenieJeVMDljatermodinamicheskijhraschetovmetallurgicheskijhprocessov]. Moscow, The science. (In Russian)

[16] Trusov BG (1984) Thermodynamic method of analysis of high-temperature states and processes and its practical implementation [Termodinamicheskijmetodanalizavysokotemperaturnyh sostojanij i processov i ego prakticheskajarealizacija]. Moscow. (In Russian)

[17] Shevko VM, Amanov DD, Karataeva GE, Aitkulov DK (2016). Obtaining a complex ferroalloy from silica clay contained silicon and aluminum. Complex use of mineral raw materials, p:39-45.

[18] Ershov VA, DantsisYa B, Reutovich LN (1974) Production of calcium carbide [Proizvodstvokarbidakalcija]. Leningrad: Chemistry [Leningrad, Himija]. (In Russian)

[19] Kozlov KB, Lavrov BA (2011) Calcium carbide production in an arc furnace and its analysis [Poluchenie karbida kal'cija v dugovojpechi i ego analiz]. Saint Petersburg, St. Petersburg State Technological Institute (technical university) [Sankt-Peterburgskij, Sankt-Peterburgskijgosudarstvennyjtehnologicheskijinstitut(tehnicheskijuniversitet)]. (In Russian)

[20] DantsisYa B, Ershov VA, Zhilov GM (1984) Electrothermal processes of chemical technology [Jelektrotermicheskie processy himicheskojtehnologii] Leningrad: Chemistry [Leningrad, Himija]. (In Russian)

**В. М. Шевко<sup>1</sup>, Д. К. Айткулов<sup>2</sup>, Б. Б. Атамкулов<sup>3</sup>, К. С. Избасханов<sup>4</sup>, М. А. Найманбаев<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент, Қазақстан,

<sup>2</sup>Қ. И. Сәтбаев атындағы Геология ғылымдар институты, Алматы, Қазақстан,

<sup>3</sup>Қ. И. Сәтбаев атындағы Геологиялық ғылымдар институты, Алматы, Қазақстан,

<sup>4</sup>АҚ «Тау-Кен Самұрық», Астана, Қазақстан,

<sup>5</sup>АҚ "Металлургия және кен байыту институты", Алматы, Қазақстан

### **АШЫСАЙ КЕН ОРНЫНЫҢ КЕДЕЙ ОКСИДТІ КЕНДЕРІН КЕШКНДІ ЭЛЕКТРОТЕРМИЯЛЫҚ ҚАЙТА ӨНДЕУ**

**Аннотация.** Оксидті кендерді вельцтеудің негізгі кемшіліктеріне байланысты (кокстың едәуір шығыны, үйінді клинкердің түзілісі,  $\leq 5\%Zn$ -пен кендерді қайта өндеудің тиімсіздігі) мырыш металлургиясындағы мәселе кедей оксидті кендерді кешенді қайта өндеу болып табылады.

Мақалада тотықсыздандыра-айдаумен балқыту арқылы  $3,2-5,5\%Zn$  құрайтын Ащысай кен орындарының кедей карбонатты кендерін қайта өндеу бойынша зерттеу нәтижелері келтіріледі. Зерттеу доғалы пеште электрлі балқытумен және Гиббс энергиясының минимумды принципіне негізделген HSC-5.1 бағдарламалы кешенін пайдалану арқылы термодинамикалық моделдеу әдісімен жүргізілген. Кендердің көміртегімен біртекті әрекеттесуі  $FeSi$  ( $T \geq 1500^\circ C$ ),  $Si$  ( $T \geq 1600^\circ C$ ), кальций карбидінің ( $T \geq 1800^\circ C$ ) және газ тәрізді  $Zn$  ( $T \geq 800^\circ C$ ) түзілісімен сипатталатыны анықталды; 87-94% деңгейінде қорытпаға кеннен кремнийді бөліп алудың біртекті дәрежесі  $1900-2100^\circ C$  кезінде,  $CaC_2-72-77,2\%$ -ге кальцийді бөліп алу  $2000-2100^\circ C$  кезінде, мырышты  $95-99,9\%$  газға бөліп алу  $1700-2100^\circ C$  кезінде байқалады. Кендерді кокспен қорытпада электрлі балқыту литражбен кальций карбидінің  $210-260$  л/кг және  $12-19\%$   $Si$  мөлшерімен ферроқорытпаны алуға мүмкіндік береді; кварциттің қатысуында қорытпада  $Si$  мөлшері  $32-33\%$  дейін артады, бұл кезде карбид литражы  $150-190$  л/кг құрайды. Электрлі балқыту кезінде айдандыларға мырышты бөліп алу дәрежесі  $97-99\%$  құрайды. Оксидті мырышты кендерді қайта өндеудің ұсынылған әдісі өнімге мырышты ғана месе, сондай-ақ, қорғасын, кадмий, темір, кремний және кальцийді бөліп алуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, шикізатты кешенді қолдану дәрежесі едәуір артады.

**Түйін сөздер:** кедей оксидті кендер, тотықсыздану, термодинамикалық моделдеу, электрлі балқыту, ферроқорытпа, кальций карбиді, мырышты айдандылар.

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 4, Number 424 (2017), 184 – 191

A. A. Biryukova<sup>1</sup>, T. V. Vakalova<sup>2</sup>, T. D. Dzhienalyev<sup>1</sup>, T. A. Tihonova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>JSC «Institute of metallurgy and ore beneficiation», Almaty, Kazakhstan,

<sup>2</sup>FIEI «National Research Tomsk Polytechnic University», Tomsk, Russia.

E-mail: biryuk.silikat@mail.ru

## CERAMIC PROPPANTS FROM RAW MATERIALS OF KAZAKHSTAN FOR OIL AND GAS INDUSTRY

**Abstract.** The aim of the work is to obtain ceramic proppants from aluminosilicate raw materials of Kazakhstan for oil and gas industry. To obtain spherical granules (proppants), the methods of ceramic materials technology are used in the work. Arkalyk refractory clay and krasnooktyabrsk highly ferrous bauxite were used as raw materials. The influence of the temperature of preliminary heat treatment of raw materials and additions of mineralizers on the processes of sintering and hardening of ceramic compositions during sintering firing in the interval 1350-1500 °C has been studied. The optimum temperature for preliminary heat treatment of the raw materials equal to 1000 °C has been established. The effect of manganese, magnesium and iron oxides on activation of mullite formation and sintering of aluminosilicate compositions based on natural raw materials of Kazakhstan was studied. The effectiveness of the application of iron oxide additives as mineralizers for the production of aluminosilicate proppants from arkalyk clay with a dense structure and high strength has been revealed. The possibility of using krasnooktyabrsk highly ferrous bauxite in proppant technology at the same time as alumina and iron-containing component of the charge is established. Based on arkalyk clay and krasnooktyabrsk bauxite, ceramic proppants were obtained for fracturing on hard-to-recover oil wells with a wide range of compositions and properties. The field of application is oil and gas industry and ceramic enterprises.

**Keywords:** ceramic proppant, fire clay, highly ferrous bauxite, mullite formation, sintering, additives, mineralizers, strength.

УДК 666.762

А. А. Бирюкова<sup>1</sup>, Т. В. Вакалова<sup>2</sup>, Т. Д. Джиеналыев<sup>1</sup>, Т. А. Тихонова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан,

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск, Россия

## КЕРАМИЧЕСКИЕ ПРОППАНТЫ ИЗ СЫРЬЯ КАЗАХСТАНА ДЛЯ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**Аннотация.** Цель работы – получение керамических проппантов из алюмосиликатного сырья Казахстана для нефтегазодобывающей промышленности. Для получения сферических гранул (проппантов) в работе использованы методы технологии керамических материалов. В качестве сырья были применены аркалыкские огнеупорные глины и высокожелезистый краснооктябрьский боксит. Изучено влияние температуры предварительной термообработки сырья и добавок минерализаторов на процессы спекания и упрочнения керамических композиций при спекающем обжиге в интервале 1350-1500 °C. Установлена оптимальная температура предварительной термообработки исходного сырья, равной 1000°C. Изучено влияние оксидов марганца, магния и железа на активацию процессов муллитобразования и спекания алюмосиликатных композиций на основе природного сырья Казахстана. Выявлена эффективность применения добавок оксидов железа в качестве минерализаторов для получения алюмосиликатных проппантов из аркалыкской глины с плотной структурой и высокой прочностью. Установлена возможность положительного использования высоко-



кожелезистого краснооктябрьского боксита в технологии проппантов одновременно как глинозем и железосодержащий компонент шихты. На основе аркалыкской глины и краснооктябрьского боксита получены керамические проппанты для проведения ГРП на трудноизвлекаемых нефтяных скважинах с широким диапазоном составов и свойств. Область применения – нефтегазодобывающие отрасли промышленности, керамические предприятия.

**Ключевые слова:** керамический проппант, огнеупорная глина, высокожелезистый боксит, муллитобразование, спекание, добавки, минерализаторы, прочность, структура.

**Введение.** Добыча углеводородов с каждым годом становится все более трудоемкой и дорогостоящей. Поэтому весомую роль в отрасли играют технологии, повышающие нефтеотдачу скважин и снижающие себестоимость разработки месторождений. На современном этапе наиболее доступным и дешевым методом интенсификации добычи нефти и газа является гидравлический разрыв пласта (ГРП). Он позволяет значительно повысить дебит или "оживить" простаивающие скважины, на которых добыча традиционными способами уже малорентабельна или невозможна. ГРП используется также и для разработки новых месторождений трудноизвлекаемой нефти.

Суть ГРП заключается в резком нагнетании в пласт через скважину под высоким давлением жидкостей разрыва, фильтрующихся в первую очередь в зоны с наибольшей проницаемостью, что приводит к образованию искусственных и расширению имеющихся трещин в породе пласта. В образованные трещины жидкостями разрыва транспортируется зернистый материал (проппант), закрепляющий трещины в раскрытом состоянии после снятия избыточного давления. В результате этого значительно повышается нефтеизвлечение за счет приобщения к выработке слабо дренируемых зон и пропластков.

Инновационное развитие современной нефтегазодобывающей отрасли промышленности вызывает необходимость создания новых керамических проппантов с заданным комплексом функциональных свойств [1-6].

В общем объеме керамических проппантов главенствующее место занимают проппанты на основе природного алюмосиликатного сырья. Перспективность таких проппантов заключается еще и в том, что основным сырьем для их производства являются доступные огнеупорные глины и каолины, бокситы, породы, содержащие гидраты и силикаты глинозема, отходы огнеупорных и металлургических производств [7-10].

Цель данной работы - разработка составов для получения керамических проппантов на основе алюмосиликатного сырья Республики Казахстан.

**Методика эксперимента и исходные материалы.** В работе в качестве сырья были использованы огнеупорная глина Аркалыкского и боксит Краснооктябрьского месторождений.

Исследование химико-минералогического состава исходных материалов и структурно-фазовых преобразований при термообработке керамических композиций на их основе проводили с привлечением химического, рентгеноструктурного и микроскопического методов анализа. Изготовление образцов керамики производили с применением приемов, принятых в технологии керамических и огнеупорных материалов.

Определение технических свойств керамики проводили по следующим ГОСТам: 2409-80 «Материалы и изделия огнеупорные. Метод определения водопоглощения, кажущейся плотности, открытой и общей пористости», 4071-80 – «Изделия огнеупорные. Метод определения предела прочности при сжатии», ГОСТ Р 51761-2013 «Проппанты алюмосиликатные».

Рентгеноструктурный анализ исходного сырья и синтезированных композиций были проведены на дифрактометре D8 Advance (BRUKER).

Химический анализ применяемых материалов проведен в специализированной лаборатории по сертифицированным методикам.

Химические составы исходного сырья приведены в таблице 1.

Химико-минералогический состав алюмосиликатного сырья детально изучен и приведен в работе [8].

Аркалыкская огнеупорная глина и краснооктябрьский боксит по химическому составу представляют высокоосновное сырье. По минералогическому составу огнеупорная глина является каолиновой, а боксит – гематит-гипсбит-каолиновой породой. Минералогический состав сырья представлен на рисунке 1.

Таблица 1 – Химический состав исходных материалов

Table 1 – Chemical composition of raw materials

Наименование материала	Содержание компонентов, мас. %								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	п.п.п
Боксит краснооктябрьский	4,68	40,33	15,32	0,21	0,68	0,03	0,03	3,00	21,18
Глина аркалыкская	38,66	47,28	4,18	0,34	0,62	0,32	0,12	2,40	14,50

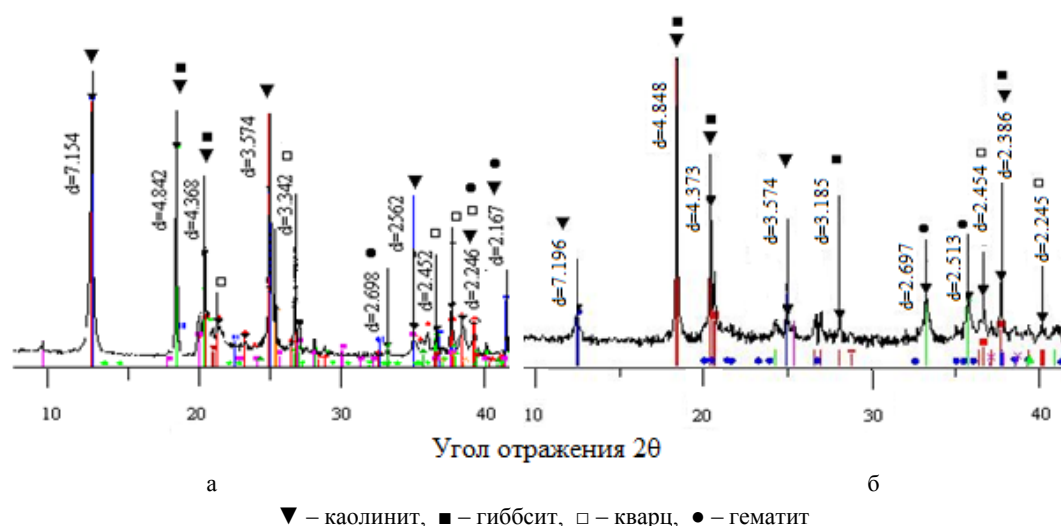


Рисунок 1 – Дифрактограммы пробы аркалыкской глины (а) и краснооктябрьского боксита (б)

Figure 1 – Diffractograms of samples of arkalykclay (a) and krasnooktyabrskbauxite (b)

Огнеупорную глину в исследованных композициях использовали в качестве основного компонента, а боксит – с целью увеличения количества глинозема, нейтрализующего отрицательное разупрочняющее действие кристобалита, образующегося при полиморфном превращении примесного кварца и кристаллизации аморфного кремнезема, выделяющегося из структуры каолинита. Введение боксита в состав шихты позволит увеличить содержание муллита в структуре обожженного материала, что должно благоприятно сказаться на упрочнении керамики.

**Экспериментальная часть и обсуждение результатов исследований.** Основной фазой керамических пропантов на основе природного алюмосиликатного сырья является муллит, определяющий такие важные свойства как прочность и коррозионная стойкость. Поэтому исследования были направлены на создание условий для максимально возможного формирования муллитовой фазы.

Анализ научных публикаций в этом направлении показал, что активации синтеза муллита способствуют предварительная термообработка сырья и добавки минерализаторов [7, 8].

*Влияние предварительной термообработки глины на свойства алюмосиликатной керамики.* Традиционно в технологии керамических материалов алюмосиликатное сырье, содержащее кристаллизационную воду (глины, каолины, бокситы и др.), подвергают обжигу для ее удаления. При этом происходит разрушение кристаллической решетки исходных минералов с образованием промежуточных соединений, повышающих поверхностную энергию дефектной структуры материала, способствующей интенсификации процесса спекания и повышения прочности керамики в спекающем обжиге.

Одни исследователи [11] считают, что термообработку алюмосиликатного сырья следует проводить при 700–900°C, так как выше этих температур начинается первичная кристаллизация муллита и, соответственно, значительно снижается поверхностная энергия порошкообразного материала, что затрудняет процесс грануляции и получение гранул с низкой пористостью. Другие [12] предлагают термическую обработку глинистого сырья проводить при 1150-1250 °C. Поло-

жительный эффект такой высокотемпературной подготовки сырьевых компонентов связывают с полным разложением структуры каолинита, началом образования кристаллов муллита, выделением и модификационными превращениями стеклофазы. Такие разноречивые сведения обуславливают необходимость проведения детальных исследований по выбору температуры предварительной термообработки сырья для получения керамических пропантов. В работе проведена термообработка исходной глины в свободно насыпанном виде при 800, 900, 1000 и 1200 °С.

Рентгенофазовым анализом продуктов обжига огнеупорной глины в интервале 900-1000°С установлено образование криптокристаллической фазы типа каолинита с  $N=1,555$ , проросшей тонкодисперсными зёрнами с более высоким показателем светопреломления ( $N=1,61$ ). Вследствие очень мелкой структуры новообразований другие оптические свойства определить не удалось, однако при этом на дифрактограммах продуктов обжига присутствуют линии муллита ( $d=5,39$ ;  $3,77$ ;  $3,39$ ;  $2,89$ ;  $2,69$ ;  $2,54$ ). Начало процесса муллитообразования отмечено в продуктах обжига аркалыкской глины при 900°С, количественное содержание его в пробе составило 23%. В пробе глины, обожженной при 1000°С, установлено 27% муллита. Интенсивное образование муллита установлено в пробе после обжига при температуре 1200 °С. Количество этой фазы составило 48%.

Установленный факт образования криптокристаллической фазы с дефектной структурой начала формирования муллита может стать предпосылкой для интенсивного муллитообразования и хорошего спекания керамики в последующем спекающем обжиге. Поэтому в дальнейших исследованиях термообработку сырья проводили при 1000°С.

Для определения влияния предварительной термообработки сырья на свойства алюмосиликатной керамики нами были изготовлены образцы следующим образом.

Исходную и термообработанную при 1000°С глину подвергали тонкому измельчению до прохождения частиц материала через сито 0,063 мм. Из полученного порошка с применением связки в виде 0,5 % раствора карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) были отформованы образцы – цилиндры диаметром 36 мм методом прессования на гидравлическом прессе при удельном давлении 15 Н/мм<sup>2</sup>.

После сушки в естественных условиях образцы керамики подвергали спекающему обжигу в интервале 1400-1500°С с выдержкой при заданной температуре 1 час.

Свойства, характеризующие процесс спекания приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние предварительной термообработки и добавок минерализаторов на свойства образцов керамики из аркалыкской глины

Table 2 – The effect of preliminary heat treatment and mineralizer additives on the properties of arkalyk clay ceramic samples

Температура обжига, °С	Свойства		
	общая усадка, %	водопоглощение, %	прочность на сжатие, МПа
<i>Глина исходная</i>			
1400	13,7	10,3	26,8
1450	15,2	6,7	45,3
1500	16,4	5,9	52,9
<i>Глина, термообработанная при 1000 °С</i>			
1400	21,7	5,2	87,5
1450	24,0	0,6	91,9
1500	24,7	0,6	108,4
<i>Глина, термообработанная при 1000 °С с добавками:</i>			
<i>2% MnO</i>			
1350	21,9	1,2	77,5
1400	22,9	0,1	91,3
1450	22,5	0,5	100,6
<i>2% MgO</i>			
1350	22,9	0,3	94,6
1400	23,2	0,2	108,0
1450	22,8	0,5	105,4
<i>5% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>			
1350	23,0	0,2	98,7
1400	23,3	0,1	119,7
1450	22,7	0,9	107,0

Данные таблицы 2 показывают, что образцы, полученные из предварительно термообработанной при 1000°С огнеупорной глины, имеют более высокие прочностные показатели (108МПа), чем образцы из не прокаленного сырья.

Комплексное влияние добавок минерализаторов и предварительной термообработки сырья на свойства алюмосиликатной керамики. С целью повышения механической прочности алюмосиликатных проппантов при одновременном снижении температуры их обжига были проведены исследования по активации процессов синтеза муллита и спекания алюмосиликатной керамики с применением минерализующих добавок.

В качестве добавок-минерализаторов были опробованы:  $MnO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$ .

Выбор добавок-минерализаторов сделан с учетом результатов исследований, проведенных в работе [9].

Минерализующие добавки вводили в измельченную предварительно термообработанную при температуре 1000°С глину, в количестве (мас. %):  $MgO$  – 2,  $MnO$  – 2 и  $Fe_2O_3$ – 5, сверх 100% шихты.

Керамические образцы получены по приведенному вышеспособу. Обжиг образцов проводили в интервале температур 1350-1450°С с выдержкой при каждой заданной температуре 1 час.

Установлено, что все добавки оказывают активирующее действие на спекание керамических композиций из глины (таблица 2, рисунок 2).

Образцы, содержащие в своем составе добавки минерализаторов, после спекающего обжига имеют более плотную прочную структуру, чем образцы без добавок (таблица 2, рисунок 2).

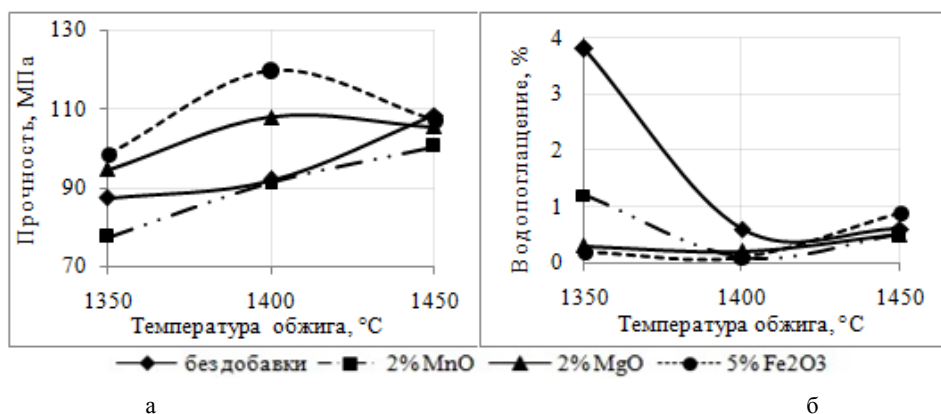


Рисунок 2 – Прочность (а) и водопоглощение (б) керамики с добавкой минерализаторов, обожженной в интервале 1350-1450°С

Figure 2 – Strength (a) and water absorption (b) with the addition of mineralisers ceramics, fired in the range of 1350-1450 °C

Лучшие показатели свойств керамики отмечены в случае применения в качестве минерализаторов оксиды железа.

Перегиб, отмеченный на рисунке 2 при температуре 1400°С, соответствует максимальному значению прочности (119,5 МПа) и минимальному значению водопоглощения (0,1%) образцов, содержащих  $Fe_2O_3$ . На образцах керамики обожженных при 1450 °С, уже отмечены следы пережога, водопоглощение повышается, а прочность понижается, то есть оптимальный температурный интервал обжига составляет 1350-1400°С.

Установленный факт активации процесса спекания аркалыкской глины железоксидными добавками, обуславливает целесообразность рассмотрения природного высокожелезистого краснооктябрьского боксита для получения алюмосиликатных проппантов одновременно как глинозем- и железосодержащий компонент.

С одной стороны, введение в состав шихты высокожелезистого боксита обеспечит существенное увеличение суммарного содержания  $TiO_2$  и  $Fe_2O_3$ , что позволит снизить температуру спекания исследуемых керамических масс за счет образования достаточного количества расплава при более низких температурах обжига. С другой стороны, увеличение суммарного содержания оксида алюминия позволит связать избыточный кремнезем во вторичный муллит при спекающем обжиге гранул-проппантов.

Для определения оптимального состава шихты нами был сделан расчет химического состава исследуемых композиций на основе аркалыкской глины и краснооктябрьского боксита в соотношении от 0 до 100 на содержание основных оксидов  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  и  $Fe_2O_3$  (таблица 3).

Таблица 3 – Составы и свойства гранул-пропантов на основе аркалыкской глины и краснооктябрьского боксита после спекающего обжига

Table 3 – Compositions and properties of proppants based on arkalyk clay and krasnooktyabrsk bauxite after sintering firing

Шифр состава*	Температура спекающего обжига, °С	Содержание оксидов			Свойства пропантов	
		$Al_2O_3$	$SiO_2$	$Fe_2O_3$	насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	доля разрушенных гранул, %
<i>Аркалыкская глина без добавок</i>						
АБ0	1500	48,3	44,5	2,3	1,54	25,5
АБ10	1450	49,7	41,2	4,3	1,57	21,2
АБ20	1400	51,1	37,6	6,3	1,58	18,7
АБ30	1380	52,3	31,1	8,3	1,60	17,5
АБ40	1360	53,7	30,6	10,3	1,64	16,5
АБ50	1350	54,6	27,15	12,2	1,68	19,8
АБ70	1350	57,5	20,21	16,2	1,72	20,5
АБ100	1350	61,7	9,8	22,3	1,78	27,8
* А – глина, Б – боксит, цифра – содержание боксита.						

Анализ данных таблицы 3 свидетельствует о том, что добавки высокожелезистого боксита к огнеупорной глине в количестве от 10 до 100% обеспечивает повышение суммарного содержания оксида алюминия в композициях с 48,1 (состав АБ0-исходная глина) до 61,7 (при 100 % содержании боксита, состав АБ100). Одновременно при этом повышается содержание  $Fe_2O_3$ , что может оказать отрицательно влияние на прочностные свойства пропантов.

Керамические пропанты на основе алюмосиликатного сырья Казахстана были получены по технологической схеме, включающей термообработку сырья при температуре 1000°С, мокрый помол до размера частиц менее 0,063 мм, обезвоживание шликера, сушку, смешивание и гомогенизацию компонентов. Пропанты получали из порошков с применением в качестве связки 1,5 % раствор карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) в лабораторных условиях в турболлопостном грануляторе. Гранулирование производили до получения гранул с насыпной плотностью 0,9 – 1,0 г/см<sup>3</sup> в сухом состоянии. Количество связки составило 20-30 %. Гранулы пропанты сушили до остаточной влажности 1-3 % с последующим промежуточным фракционированием материала. Спекающий обжиг гранул производили в интервале температур 1350-1500°С в зависимости от состава керамической шихты.

Обоженные гранулы-пропанты фракционировали в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51761-2013 на алюмосиликатные пропанты и были определены их свойства.

Составы и свойства гранул-пропантов приведены в таблице 3.

Согласно требованиям ГОСТ Р 51761-2013 доля разрушенных гранул при сжимающей нагрузке 51,7 МПа для фракции 16/20 не должно превышать 20 %.

Установлено, что пропанты состава АБ20-АБ-70 по техническим показателям, удовлетворяют требованиям указанного ГОСТа.

Рентгеноструктурный анализ проб пропантов показал, что фазовый состав их представлен основным минералом муллитом и в зависимости от состава композиции могут присутствовать корунд, шпинель, кварц, фаялит. Количество муллита варьирует от 25 до 68%. Максимальное количество муллита содержится в гранулах пропантов композиций АБ20-АБ40 (60-68%).

На рисунке 3 представлен фазовый состав гранул пропантов состава АБ30.

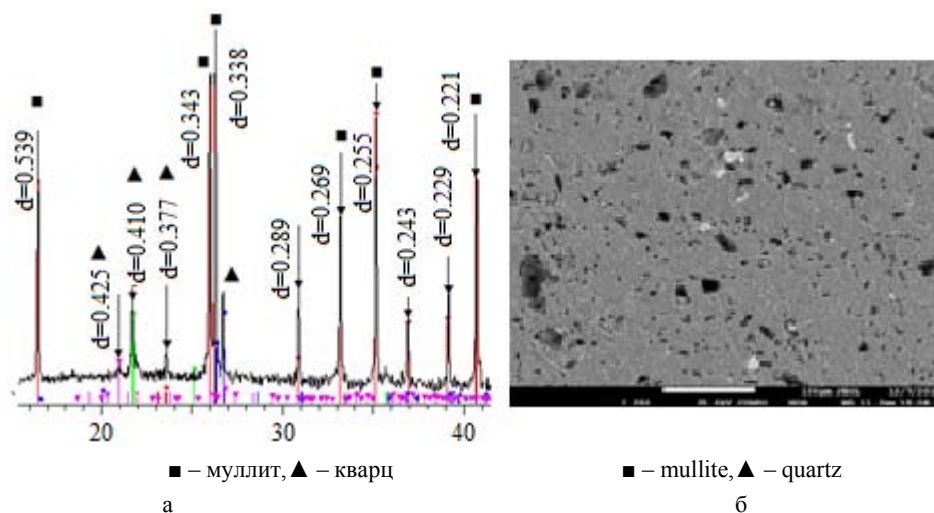


Рисунок 3 – Дифрактограмма (а) и структура (б) пропантов состава АБ30 по данным РЭМ

Figure 3 – Diffractogram (a) and structure (b) proppants of composition АБ30 according to SEM

### Выводы.

1. Получены алюмосиликатные пропанты на основе аркалыкской огнеупорной глины и краснооктябрьского боксита.
2. Установлено, что предварительная термообработка сырья способствует повышению прочности гранул пропантов.
3. Показано, что добавки высокожелезистого краснооктябрьского боксита в состав шихты позволяют снизить температуру спекающего обжига пропантов с 1400-1500°C до 1350-1400°C.
4. Керамические пропанты, полученные из аркалыкской глины с добавкой 20-70 мас.% краснооктябрьского боксита после спекающего обжига по техническим свойствам удовлетворяют требованиям ГОСТ Р 51761-2013 на алюмосиликатные пропанты.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Усова З.Ю., Погребенков В.М. Керамический пропант на основе бората алюминия // Огнеупоры и техническая керамика. – 2012. – №1-2. – С. 28-32.
- [2] Пат. 2196889 Российская Федерация, МПК E21B43/267. Пропанты и способ их изготовления / Хорошавин Л.Б., Кочкин Д.К., Фомкин Н.И.; патентообладатель ОАО «НПО «Восточный институт огнеупоров», ОАО «Юргинский абразивный завод» (RU); заявл. 21.05.2001; опубл. 20.01.2003; Бюл. № 2.
- [3] Пат. 2507178 Российская Федерация, МПК C04B35/10. Способ получения пропанта и способ гидравлического разрыва пласта с использованием полученного пропанта / Першикова Е.М., Усова З.Ю., Найдуква С.А. (RU); патентообладатель ШлюмбержеТехнолоджи Б.В.(NL); заявл. 28.04.2008; опубл. 20.02.2014; Бюл. № 5.
- [4] Пат. 2381202 Российская Федерация, МПК C04B35/622. Способ изготовления керамических пропантов / Алексеев В.В., Шмотьев С.Ф., Плинер С.Ю.; патентообладатель. ООО «ФОРЕС» (RU); заявл. 30.11.2007; опубл. 10.02.2010; Бюл. № 4.
- [5] Снегирев А.И. Технология производства и свойства сферических гранул в Системе MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> // Огнеупоры и техническая керамика. – 1998. – № 10. – С. 21-23.
- [6] Пат. 2476476 Российская Федерация, МПК C09K8/80, C04B35/622. Способ изготовления керамического пропанта и пропант / Алексеев В.В., Пейчев В.Г., Баламыгин Д.И.; патентообладатель ООО «ФОРЕС» (RU); заявл. 10.06.2011; опубл. 27.02.2013; Бюл. № 6.
- [7] Бирюкова А.А., Тихонова Т.А., Боронина А.В. Влияние модифицирующих добавок на процессы муллитобразования в композициях системы Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> // Комплексное использование минерального сырья. – 2011. – № 1. – С. 88-95.
- [8] Бирюкова А.А., Тихонова Т.А., Акчулакова С.Т., Вакалова Т.В., Говорова Л.П. Влияние фторсодержащих добавок на синтез и свойства муллитовой керамики на основе алюмосиликатного сырья Казахстана // Комплексное использование минерального сырья. – 2016. – № 1. – С. 80-87.
- [9] Пат. 2392251 Российская Федерация, МПК C04B35/64, C09K8/80. Способ получения алюмосиликатного пропанта и его состав / Вакалова Т.В., Погребенков В.М., Решетова А.А.; патентообладатель Томский политехнический университет (RU); заявл. 29.04.2009; опубл. 20.06.2010; Бюл. № 17.
- [10] Pogrebekov V.M., Reshetova A.A., Vakalova T.V. Criteria for selecting clay initial materials for making aluminum silicate proppants // Glass and Ceramics (English translation of Steklo i Keramika). – 2009. – Vol. 66, Issue 9-10. – P. 313-317.

[11] Пат. 2140875 Российская Федерация, МПК C01F7/38. Алумокремниевая шихта для производства гранул / Симановский Б.А., Розанов О.М., Можжерин В.А.; патентообладатель ОАО «Боровичский комбинат огнеупоров» (RU); заявл. 02.10.1998; опубл. 10.11.1999.

[12] Пат. 2244695 Российская Федерация, МПК C0435/622. Способ получения легковесных высокопрочных керамических гранул / Горбатов В.Ю., Титов С.В.; патентообладатель ООО «КМК» (RU); заявл. 08.01.2004; опубл. 20.01.2005; Бюл. № 2.

## REFERENCES

[1] Usova Z.Yu., Pogrebenkov V.M. Ceramic proppant based on aluminum borate // Refractories and technical ceramics. 2012. N 1-2. P. 28-32.

[2] Pat. 2196889 Russian Federation, IPC E21B43/267. Proppants and the method of their manufacture / Khoroshavin L.B., Kochkin D.K., Fomkin N.I.; Patent holder of JSC "NPO" Eastern Institute of Refractories ", JSC" Yurginsky Abrasive Plant "(RU); Claimed. 21.05.2001; Publ. 20.01.2003; Bul. № 2.

[3] Pat.2507178 Russian Federation, IPC C04B35/10. A method for producing proppant and a method of hydraulic fracturing of a formation using the produced proppant / Pershikova E.M., Usova Z.Yu., Naidukova S.A. (RU); Patent owner Schlumberger Technology BV (NL); Claimed. 28.04.2008; Publ. 02/20/2014; Bul. № 5.

[4] Pat. 2381202 Russian Federation, IPC C04B35/622. Method of manufacturing of ceramic proppants / Alekseev V.V., Shmotiev S.F., Pliner S.Yu. ; The patent owner. ООО FORES (RU); Claimed. 30.11.2007; Publ. 10.02.2010; Bul. № 4.

[5] Snegirev A.I. Production technology and properties of spherical granules in the MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> system // Refractories and technical ceramics. 1998. N 10. P. 21-23.

[6] Pat. 2476476 Russian Federation, IPC C09K8/80, C04B35/622. Method of manufacturing of ceramic proppant and proppant / Alekseev V.V., Peichev V.G., Balamygin D.I.; Patent owner of LLC FORES (RU); Claimed. 10/06/2011; Publ. 02/27/2013; Bul. № 6.

[7] Biryukova A.A., Tikhonova T.A., Boronina A.V. Influence of modifying additives on processes of mullite formation in compositions of system Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> // Complex use of mineral raw materials. 2011. N 1. P. 88-95.

[8] Biryukova A.A., Tikhonova T.A., Akchulakova S.T., Vakalova T.V., Govorova L.P. Influence of fluorine-containing additives on synthesis and properties of mullite ceramics on the basis of aluminosilicate raw materials of Kazakhstan // Complex use of mineral raw materials. 2016. N 1. P. 80-87.

[9] Pat. 2392251 Russian Federation, IPC C04B35/64, C09K8/80. Method for obtaining aluminosilicate proppant and its composition / Vakalova T.V., Pogrebenkov V.M., Reshetova A.A.; Patent holder Tomsk Polytechnic University (RU); Claimed. 29.04.2009; Published on 06/20/2010; Bul. No. 17.

[10] Pogrebenkov V.M., Reshetova A.A., Vakalova T.V. Criteria for selecting clay, initial materials for making aluminum silicate proppants. Glass and Ceramics. 2009. Vol. 66, Issue 9-10. P. 313-317.

[11] Pat. 2140875 Russian Federation, IPC C01F7/38. Alumosilicon batch for pellet production / Simanovsky B.A., Rozanov O.M., Mozherin V.A.; Patent holder of OJSC "Borovichi Refractories Plant" (RU); Claimed. 10/02/1998; Publ. 10.11.1999.

[12] Pat. 2244695 Russian Federation, IPC C0435/622. Method for obtaining lightweight high-strength ceramic granules / Gorbatov V.Yu., Titov S.V.; The patent owner of ООО КМК (RU); Claimed. 01/08/2004; Publ. 20.01.2005; Bul. № 2.

**А. А. Бирюкова<sup>1</sup>, Т. В. Вакалова<sup>2</sup>, Т. Д. Джиеналыев<sup>1</sup>, Т. А. Тихонова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>АҚ «Металлургия және кен байыту институты», Алматы, Қазақстан,

<sup>2</sup>«Ұлттық зерттеу Томск политехникалық университеті», Томск, Ресей

## МҰНАЙ-ГАЗ ӨНЕРКӘСІБІ ҮШІН ҚАЗАҚСТАН ШИКІЗАТЫНАН КЕРАМИКАЛЫҚ ПРОППАНТАР

**Аннотация.** Жұмыстың мақсаты – Қазақстанның алюмосиликатты шикізатынан мұнай-газ өндіру өнеркәсібіне қажетті керамикалық проппантарды алу. Сфералық грануларды (проппантарды) алу үшін жұмыс барысында керамикалық материалдарды алу технологияларының әдістері қолданылды. Шикізат ретінде арқалық отқа төзімді сазы және краснооктябрь жоғары темірлі бокситі пайдаланылды. Шикізатты алдын ала термоөңдеу температурасының және минерализатор қоспаларының 1350-1500° С температура аралығындағы күйдіру кезіндегі бірігу және беріктену процесіне әсерлері анықталды. Шикізатты алдын ала термоөңдеу температурасының оптималды мөлшері 1000°С-қа тең екені анықталды. Марганец, магний және темір оксидтерінің Қазақстан шикізаты негізіндегі алюмосиликатты композициялардың күйдіру кезіндегі муллит түзілуіне және бірігу процесіне әсері зерттелді. Арқалық сазынан тығыз құрылымды және беріктілігі жоғары алюмосиликатты проппантарды алу үшін темір оксиді қоспасының тиімділігі анықталды. Жоғары темірлі краснооктябрь бокситінің проппант алу технологиясында глинозем және шихтаның темірқұрамдас бөлігі ретінде де қолдану мүмкіндігі анықталды. Арқалық сазы және краснооктябрь бокситі негізінде қиын өндірілетін мұнай скважиналарында жер қабатын гидрожару (ГРП) кезінде қолданылатын керамикалық проппантар алынды. Қолдану аймағы – мұнай-газ өндіру өнеркәсібі және керамикалық өндіріс орындары.

**Түйін сөздер:** керамикалық проппант, отқа төзімді саз, жоғары темірлі боксит, муллит түзілу, бірігу, қоспалар, минерализаторлар, беріктік, құрылым.

**NEWS**

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES**

ISSN 2224-5278

Volume 4, Number 424 (2017), 192 – 199

**M. I. Onayev, S. M. Ulasyuk, M. A. Naimanbayev, Ye. K. Markayev, K. K. Kasyzhanov**

JSC "Institute of Metallurgy and Ore Benefication", Almaty, Kazakhstan.

E-mail: ulasyuks@mail.ru

**EXTRACTION OF IRON AND CHROME  
FROM ILMENITE CHROMIUM-CONTAINING CONCENTRATE**

**Abstract.** The high content of chromium in the ilmenite concentrate makes it difficult to process further into titanium-containing slag, titanium tetrachloride and titanium sponge. The most widespread industrial application is obtained by methods based on preliminary carbon-thermal reduction of ilmenite concentrates at 900-1200°C with the subsequent separation of reduced iron and chromium from them by electromagnetic separation, and the nonmagnetic titanium chromium fraction is sent to hydrochemical treatment for purification from chromium and other impurities. It has been established that solid-phase selective reduction of chromium-containing ilmenite concentrate should be carried out at a temperature of 1250°C and an retention time of 2 hours. The addition of 8% in the charge of sodium chloride accelerates the process of reducing iron from ilmenite. In this case, recovery of reduced iron in the magnetic fraction is 76,1%, chromium 55,8%, titanium 15,3%. To separate titanium compounds from chromium, the titanium chromium fraction is sintered with a calculated amount of soda at 850°C for 2 hours and leached with hot water (S:L ratio = 1: 4) at a temperature of 95-100°C and stirred for 120 minutes. The recovery into the chromium solution is 83,6%. Enriched by titanium concentrate contains 6,2% iron, 36,2% titanium and 0,42% chromium.

**Key words:** ilmenite concentrate, high chromium content, reductive roasting, magnetic separation, special coke, soda, sodium chloride, leaching.

УДК 549.641.23:541.1

**М. И. Онаев, С. М. Уласюк, М. А. Найманбаев, Е. К. Маркаев, К. К. Касымжанов**

АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан

**ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЖЕЛЕЗА И ХРОМА ИЗ ИЛЬМЕНИТОВОГО  
ХРОМСОДЕРЖАЩЕГО КОНЦЕНТРАТА**

**Аннотация.** Высокое содержание хрома в ильменитовом концентрате затрудняет процессы дальнейшей переработки его на титансодержащий шлак, тетрахлорид титана и губчатый титан. Наиболее широкое промышленное применение получают способы, основанные на предварительном углетермическом восстановлении ильменитовых концентратов при 900-1200°C с последующим выделением из них восстановленного железа и хрома с помощью электромагнитной сепарации, а немагнитная титанохромовая фракция отправляется на гидрохимическую обработку с целью очистки от хрома и др. примесей. Установлено, что твердофазное селективное восстановление ильменитового хромсодержащего концентрата необходимо проводить при температуре 1250°C и выдержке 2 часа. Добавка в шихту хлорида натрия в количестве 8% ускоряет процесс восстановления железа из ильменита. При этом извлечение восстановленного железа в магнитную фракцию составляет 76,1 %, хрома 55,8%, титана 15,3%. Для отделения соединений титана от хрома титанохромовую фракцию спекают с расчетным количеством соды при температуре 850°C в течение 2 ч и выщелачивают горячей водой (Т:Ж = 1:4) при температуре 95-100°C и перемешивании в течение 120 мин. Извлечение в раствор хрома составляет 83,6%. Обогащенный по титану концентрат содержит 6,2% железа, 36,2% титана и 0,42% хрома.

**Ключевые слова:** ильменитовый концентрат, повышенное содержание хрома, восстановительный обжиг, магнитная сепарация, спецкокс, сода, хлорид натрия, выщелачивание.



**Введение.** Ввиду дефицита в Казахстане титанового сырья, актуальным становится переработка хромсодержащих ильменитовых концентратов ряда месторождений (Обуховское, Шокаш), имеющих в стране. Высокое содержание хрома в ильменитовом концентрате затрудняет процессы дальнейшей переработки его на титансодержащий шлак, тетрагидрид титана и губчатый титан из-за перехода хрома в отходы производства, что осложняет условия их хранения и утилизации. Поэтому наиболее широкое промышленное применение получают способы, основанные на предварительном углетермическом восстановлении ильменитовых концентратов при 900-1200°C с последующим выделением из них восстановленного железа и хрома с помощью электромагнитной сепарации, а немагнитная титанохромовая фракция отправляется на гидрохимическую обработку с целью очистки от хрома и др. примесей. Получаемые при этом обогащенные по титану концентраты содержат до 94-98%  $TiO_2$ .

Цель данной работы – разработка эффективного способа переработки ильменитовых хромсодержащих концентратов, снижение содержания хрома в титансодержащем концентрате.

**Методика проведения эксперимента.** Исследование состава исходной пробы ильменитового концентрата было проведено с применением следующих методов анализа: химического, минералогического (микроскоп МИН-8 (проходящий свет) и инвертированный микроскоп Deica (отраженный свет)) и электронно-зондового (электронный растровый микроскоп с микроанализатором JEOL JXA-8230 фирмы JEOL, Япония).

Опыты по восстановительному обжигу проводили в горизонтальной трубчатой электропечи Nabertherm B180.

Методика проведения опытов по восстановительному обжигу. Навеску концентрата 100 г смешивали с порошком восстановителя и связующего бентонитовой глины и прессовали в виде брикетов размером 15 x 18 мм. Расход восстановителя составлял 20% от массы концентрата, крупность -0,074 мм. В качестве восстановителя использовали шубаркольский спецкокс. Из работы [1] известно, что при восстановительном обжиге ильменитового концентрата с повышенным содержанием хрома лучшей реакционной способностью обладает Шубаркольский спецкокс. Интервал температур обжига составлял 600-1300°C с шагом 100°C, время обжига 2 час. Брикеты засыпали в графитовый тигель, который помещали в рабочую зону печи. Для создания восстановительной атмосферы печь продували аргоном. Нагревали до требуемой температуры со скоростью 15 град/мин и выдерживали заданное время. Затем печь отключали, продолжая подавать аргон, до снижения температуры до 500°C, далее подачу аргона отключали и продолжали охлаждение. Затем лодочку с огарком вынимали из печи, взвешивали огарок. Полученный огарок измельчали до крупности 80 % по классу – 0,044 мм и подвергали магнитной сепарации с целью выделения восстановленного железа. Сепарацию проводили на высокоинтенсивном магнитном сепараторе (производства США). Величина индукции магнитного поля составляла 8 мТл.

Выщелачивание титанохромовой фракции проводили в термостатированном стакане водой. Условия выщелачивания: Т:Ж= 1:4, температура выщелачивания – 95-100°C, время – 2 ч. Перемешивание пульпы осуществляли со скоростью 600 об/мин при использовании механической мешалки марки ИКА RW 14 basic.

**Экспериментальная часть и обсуждение результатов.** Объектом исследования стал ильменитовый концентрат Обуховского месторождения, имеющий следующий химический состав, % (мас.): 58,8  $TiO_2$ , 26,29  $Fe_2O_3$ , 3,08  $FeO$ , 4,39  $Cr_2O_3$ , 1,24  $SiO_2$ , 2,76  $Al_2O_3$ , 1,03  $MgO$ , 1,18  $MnO$ , 0,13  $V_2O_5$ , 0,58  $ZrO_2$ , 0,32  $P_2O_5$ , 0,20 прочие. По результатам химического анализа ильменитовый концентрат состоит на 88,17% из оксидов титана и железа. Причем железо в нем находится в трехвалентной форме ( $Fe_2O_3$ ), а содержание оксида железа ( $FeO$ ) составляет всего лишь 3%. В качестве примесей в нем присутствуют оксиды хрома, алюминия, марганца, кремния.

Основной титансодержащий минерал - ильменит в результате вторичных процессов частично преобразовался в псевдорутил  $(Fe\ Cr)_2O_3 \cdot 3TiO_2$ . По минералогическому составу концентрат представлен железом-титановыми минералами в виде ильменита и псевдорутила – 87 %, рутила – 1%, циркона – 2%, хром – минералами группы хромовой шпинели, а именно, алюмохромитом и хромитом в количестве 8%. Кроме того, возможно, что хром изоморфно замещает железо в псевдорутиле. Остальное представлено нерудными минералами - кварц, полевые шпаты. По гранулометри-

ческому составу ильменитовый концентрат представлен на 96% тонкозернистым материалом крупностью  $-0,056+0,040$  мм.

Влияние температуры обжига на потерю веса навески смеси ильменитового концентрата и шубаркольского спецкокса представлено на рисунке 1.

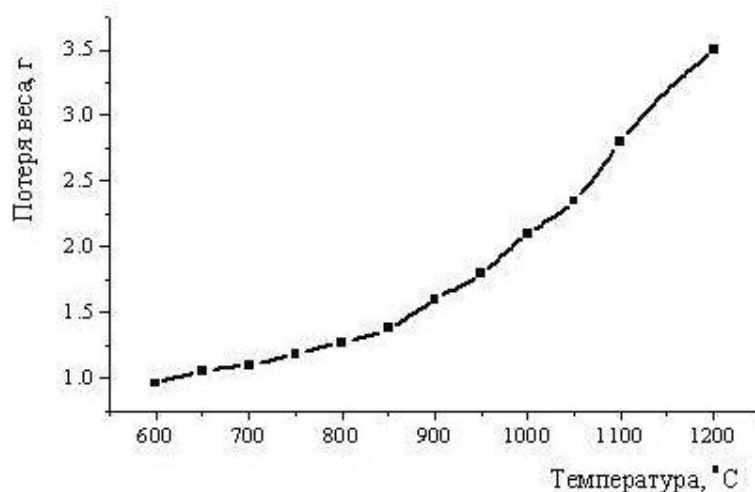


Рисунок 1 – Влияние температуры обжига на потерю веса навески смеси ильменитового концентрата и спецкокса

Figure 1 – Influence of the roasting temperature on the weight loss of a mixture of ilmenite concentrate and special coke

Как следует из рисунка 1, скорость восстановления после 850 °C начинает резко увеличиваться, очевидно, за счет восстановления железа в псевдорутиле и ильмените.

На рисунке 2 показано влияние температуры восстановительного обжига на выход магнитной и немагнитной фракции.

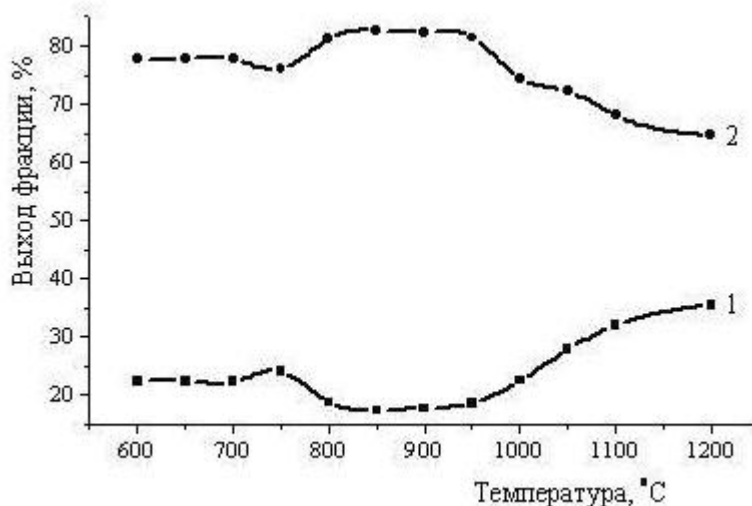


Рисунок 2 – Влияние температуры восстановительного обжига ильменитового концентрата на выход магнитной (1) и немагнитной (2) фракции

Figure 2 – Influence of the reductive roasting temperature of ilmenite concentrate on the yield of magnetic (1) and non-magnetic (2) fractions

На рисунке 2 видно, что при температуре 800–950 °C на кривой 1 наблюдается плато, которое можно объяснить развитием процесса восстановления железа из псевдорутила и ильменита.

Результаты магнитной сепарации показали, что разделить восстановленный продукт на металл и шлак методом магнитной сепарации не возможно. Весь восстановленный продукт является магнитным. Он был подвергнут минералогическому анализу, результаты которого представлены на рисунке 3.

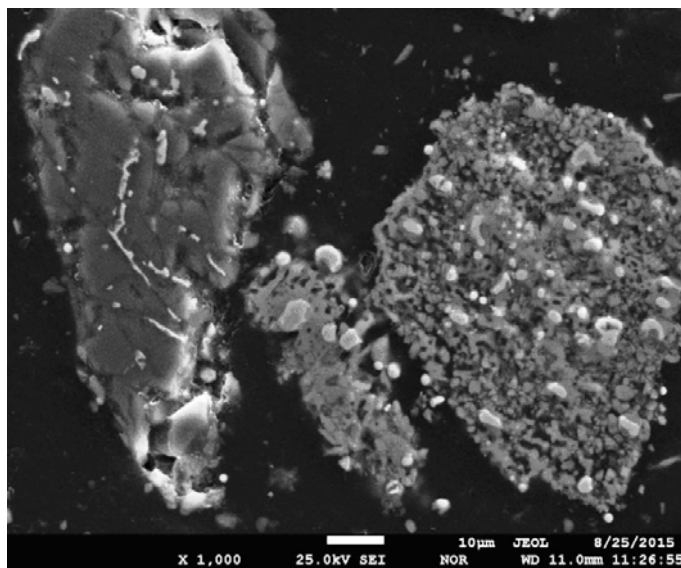


Рисунок 3 – Выделение металлической фазы (светлое) на поверхности зерен после восстановительного обжига ильменитового концентрата (увеличение 1000)

Figure 3 – Extraction of the metallic phase (light) on the surface of grains after reductive roasting of ilmenite concentrate (zoom 1000)

Из рисунка 3 видно как в процессе восстановительного обжига при твердофазном восстановлении происходит выделение металлического железа (светлое) на поверхности минералов в виде дисперсной фазы – мельчайших корольков округлой (оплавленной) формы.

Таким образом, в виду чрезвычайно дисперсной фазы, образовавшейся внутри зерен после восстановительного обжига ильменитового концентрата, разделить металл и шлак методом магнитной сепарации не представляется возможным.

В работах [2-7] показано, что при высоких температурах металлическая фаза образуется путем слияния отдельных мельчайших металлических гранул. Но при ведении процесса восстановления в низкотемпературных областях, до начала плавления шлаковых составляющих, металлические гранулы не успевают объединиться в крупные образования, способные выделяться в твердой фазе. Дополнительное введение реакционных добавок может, во-первых, увеличить скорость восстановления железа и, во-вторых, изменить ход и последовательность кристаллохимических превращений, характер диффузионных процессов. К таким добавкам относятся карбонаты и хлориды щелочных и щелочно-земельных соединений:  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

Для ускорения процесса восстановления железа из ильменита были использованы добавки хлорида натрия и карбоната натрия в количестве 8 и 12% от массы концентрата. Из смеси концентрата и добавок флюсов изготавливали брикеты при давлении  $50 \text{ кг/см}^2$ . Восстановление брикетов проводили в условиях быстрого нагрева до заданной температуры  $1200^\circ\text{C}$  и выдержке при заданной температуре в течение 2 час. Полученный огарок измельчали до крупности 80% класса  $-0,044 \text{ мм}$  и подвергали мокрой магнитной сепарации. Результаты представлены в таблице.

Анализ полученных результатов магнитной сепарации показал что, при введении флюсовых добавок в виде  $\text{NaCl}$  (8%) и температуре восстановительного обжига  $1200^\circ\text{C}$  извлечение металлического железа в магнитную фракцию составило 61,89%; хрома 50,39%, титана 37,17%. Увеличение расхода флюса  $\text{NaCl}$  до 12% не дало положительных результатов. При добавке в шихту смеси хлорида натрия и соды при соотношении 1:1 (8 и 8%) и 3:1 (12 и 4%) и температуре восстановительного обжига  $1200^\circ\text{C}$  извлечение металлического железа в магнитную фракцию составило 72,46 и 75,39%, хрома – 63,18 и 54,14%, соответственно. Но при этом в магнитную фракцию увеличивается извлечение титана 67,11 и 63,16%, соответственно.

Известно [8-10], что оптимальная температура восстановления железа находится в пределах  $1250\text{-}1300^\circ\text{C}$ . Поэтому были проведены опыты по восстановительному обжигу смеси концентрата и флюса  $\text{NaCl}$  в количестве 8%, при температурах 1250 и  $1300^\circ\text{C}$  (таблица).

Результаты магнитной сепарации продуктов восстановительного обжига ильменитового концентрата с добавлением флюсов

Results of magnetic separation of regenerative roasting products of ilmenite concentrate with addition of fluxes

Условия опыта	Наименование продукта	Содержание, %				Извлечение, %			
		Fe <sub>общ</sub>	Fe <sub>мет</sub>	Ti	Cr	Fe <sub>общ</sub>	Fe <sub>мет</sub>	Ti	Cr
T- 1200 °C NaCl- 8 %	Магнит. фр.	28,5	19,7	30,3	3,27	62,77	61,89	37,17	50,39
	Немагнит. фр.	13,1	9,4	40,4	2,54	37,23	38,11	62,83	49,61
	Итого	20,02	14,03	35,94	2,73	100,0	100,0	100,0	100,0
T- 1200 °C NaCl- 12 %	Магнит. фр.	28,5	10,5	32,97	3,65	47,24	57,57	31,8	48,32
	Немагнит. фр.	18,1	4,4	40,2	2,22	52,76	42,43	68,2	51,68
	Итого	21,87	6,61	37,57	2,74	100,0	100,0	100,0	100,0
T -1200 °C NaCl- 8 % Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> - 8 %	Магнит. фр.	21,1	12,9	39,6	2,85	68,39	72,46	67,11	63,18
	Немагнит. фр.	19,3	9,7	38,4	3,2	31,61	27,54	32,89	36,82
	Итого	20,5	11,82	39,14	2,97	100,0	100,0	100,0	100,0
T- 1200 °C NaCl- 12 % Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> - 4 %	Магнит. фр.	20,8	13,4	37,8	2,54	66,1	75,39	63,16	54,14
	Немагнит. фр.	18,3	7,5	37,8	3,69	33,9	24,61	36,84	45,86
	Итого	19,88	11,22	37,80	2,96	100,0	100,0	100,0	100,0
T- 1250 °C NaCl- 8 %	Магнит. фр.	47,56	45,0	17,7	4,99	76,14	76,1	15,3	55,8
	Немагнит. фр.	7,44	7,04	48,9	1,97	23,86	23,9	84,7	44,2
	Итого	20,8	19,68	38,51	2,98	100,0	100,0	100,0	100,0
T-1300 °C NaCl- 8 %	Магнит. фр.	49,05	45,98	28,33	5,27	79,5	78,6	26,7	61,4
	Немагнит. фр.	6,64	6,57	40,81	1,74	20,5	21,4	73,3	38,6
	Итого	21,23	20,14	36,52	2,95	100,0	100,0	100,0	100,0

Анализ полученных результатов показал, что с увеличением температуры твердофазного восстановления концентрата до 1250°C извлечение восстановленного железа в магнитную фракцию составило 76,1%, хрома – 55,8%, титана 15,3%. При увеличении температуры восстановления до 1300°C извлечение в магнитную фракцию железа составляет 78,6%, хрома 61,4%, титана 26,7%, т.е. при увеличении температуры до 1300°C начинает восстанавливаться титан, что нежелательно. Поэтому за оптимальную температуру восстановления была принята температура 1250°C.

Полученные продукты были сданы на минералогический и электронно-зондовый микроанализ, результаты которого приведены на рисунке 4.

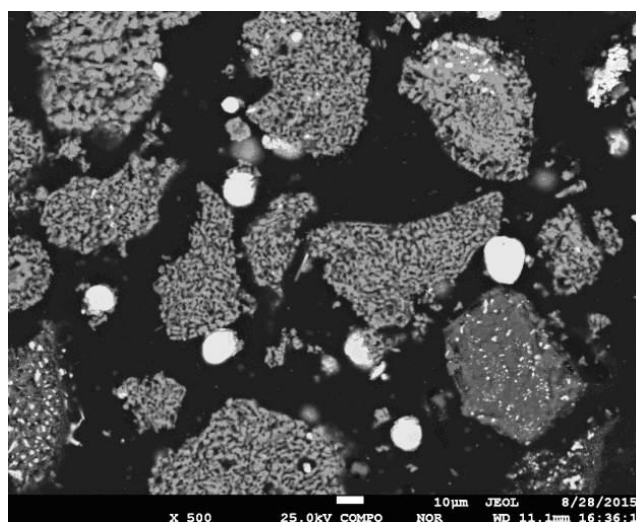


Рисунок 4 – Выделение металлической фазы (светлое) на поверхности зерен после восстановительного обжига ильменитового концентрата с добавкой флюса NaCl (8%) (увеличение 500)

Figure 4 – Extraction of the metallic phase (light) on the surface of grains after regenerative roasting of ilmenite concentrate with the addition of NaCl flux (8%) (zoom 500)

Из рисунка 4 видно, что при восстановительном обжиге шихты с добавками хлорида натрия (8%) происходит разрыхление структуры минерала ильменита, что облегчает слияние мельчайших восстановленных частичек железа в более крупные агрегаты (светлое), которые выделяются из зерен минералов.

По данным энергодисперсионного анализа металлическая фаза состоит из железа 89,31% с примесью титана 4,4%, хрома 2,66%.

Результаты микроанализа с площади пробы немагнитной титанохромовой фракции, приведенные на рисунке 5, показывают распределение примесей в ней. В среднем содержание элементов по площади брикета, представленного на рисунке 5, составило:

Элемент	Fe	Ti	Cr	Mn	O	Al	Si	Mg
Содержание, %	8,42	30,47	2,6	1,56	50,49	4,05	1,29	1,11

Немагнитная титанохромовая фракция содержит 50,78%  $TiO_2$  и 3,8%  $Cr_2O_3$ , но помимо этого в ней остаются соединения кальция, магния, марганца, остатков железа. Для отделения соединений титана от хрома титанохромовую фракцию спекают с расчетным количеством соды при температуре 850°C в течение 2 ч и выщелачивают в горячей воде (Т:Ж = 1:4) при 95-100°C и перемешивании в течение 120 мин. В результате этих действий  $Cr^{+3}$  окисляется до  $Cr^{+6}$  и после фильтрации и промывки кека отделяется от соединений титана и переходит в раствор. Извлечение в раствор хрома составляет 83,6%. Обогащенный по титану концентрат содержит 6,2% железа, 36,2% титана и 0,42% хрома.

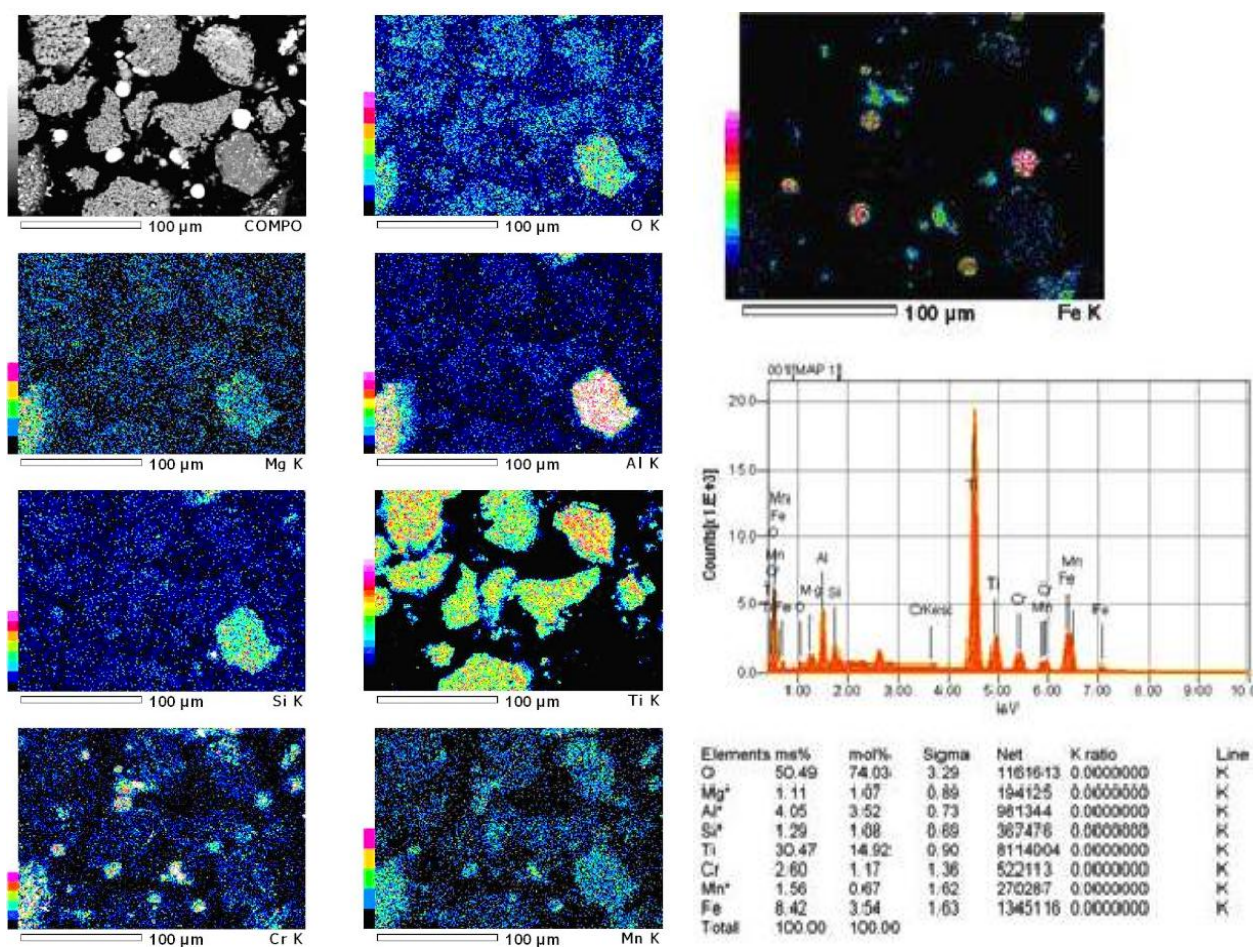


Рисунок 5 – Распределение элементов в немагнитной титанохромовой фракции (увеличение 500)

Figure 5 – Distribution of elements in the non-magnetic titanium chromium fraction (zoom 500)

**Выводы.** Таким образом, определены оптимальные условия восстановительного обжига ильменитового хромсодержащего концентрата. Для более полного восстановления железа и хрома твердофазное селективное восстановление ильменитового хромсодержащего концентрата необходимо проводить при температуре 1250°C при выдержке 2 часа. Добавка в шихту хлорида натрия в количестве 8% ускоряет процесс восстановления железа из ильменита. При этом извлечение восстановленного железа в магнитную фракцию составляет 76,1%, хрома 55,8%, титана 15,3%. Для отделения соединений титана от хрома титанохромовую фракцию спекают с расчетным количеством соды при температуре 850°C в течение 2 ч и выщелачивают горячей водой (Т:Ж = 1:4) при температуре 95-100°C и перемешивании в течение 120 мин. Извлечение в раствор хрома составляет 83,6%. Обогащенный по титану концентрат содержит 6,2% железа, 36,2% титана и 0,42% хрома.

**Источник финансирования исследований.** Статья подготовлена на основе гранта Министерства образования и науки Республики Казахстан.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] Найманбаев М.А., Уласюк С.М., Смирнов К.М., Онаев М.И., Касымжанов К.К. Исследование состава и технологических свойств ильменитового концентрата с повышенным содержанием хрома // Комплексное использование минерального сырья. – 2016. – № 2. – С. 33-39.

[2] Асанов А.В., Бухарина В.Е., Мальков Н.В., Сенин А.В., Рошин А.В. Термодинамический анализ процесса твердофазной металлзации железотитановых концентратов Копанского месторождения // Вестник ЮУрГУ. – 2008. – № 24. – С. 5-8.

[3] Рошин В.Е., Рошин А.В., Мальков Н.В. Механизм химического взаимодействия и превращения оксида в металл при твердофазном восстановлении вкрапленных хромитов // В сб. Проблемы и перспективы ферросплавного производства. – Актюбинск: Изд-во «Нобель», 2003. – С. 410-417.

[4] Белоножко Н.Д., Козлов В.А., Павлов А.В., Батракова Л.Х., Шаяхметова Р.А., Онаев М.А. Влияние добавок на процессы восстановительного обжига и селективного извлечения железа и титана из ильменита // Комплексное использование минерального сырья. – 2000. – № 3-4. – С. 34-40.

[5] Павлов А.В., Найманбаев М.А. Термодинамический анализ процесса восстановления ильменита // Труды V Международной конференции «Инновационные разработки и совершенствование технологий в горно-металлургическом производстве». – Усть-Каменогорск, 2009. – С. 289-293.

[6] Балхыбеков С.С., Павлов А.В., Кантемиров М.Д., Куламбаев Б.О., Онаев М.И., Степаненко А.С. О характере каталитического воздействия малых добавок хлоридов щелочных металлов и их влиянии на интенсификацию и полноту протекания процесса твердофазного карботермического восстановления ильменита // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию Е. А. Букетова. – Караганда, 2005. – С. 341-344.

[7] Чуфаров Г.И., Татиевская Е.П. Адсорбционно-каталитическая теория восстановления окислов металлов. – М.: Металлургия, 1970. – С.139-148.

[8] Кантемиров М.Д., Балхыбеков С.С. Кислотно-основной катализ малыми добавками хлоридов щелочных и щелочноземельных металлов при термическом восстановлении ильменита // Вестник КазНУ. Серия химии: номер посвящен 110-летию со дня рождения академика АН КазССР, д.т.н., проф. М. И. Усановича. – Алматы, 2004. – № 3(35). – С. 196-198.

[9] Резниченко В.А., Морозов А.А. Комплексное использование сырья в экологизированном замкнутом производстве // Сб. науч. трудов «Фундаментальные исследования физикохимии металлических расплавов». – М.: Академкнига, 2002. – С. 371-382.

[10] Рошин А.В., Грибанов В.П., Асанов А.В. Селективное восстановление и пирометаллургическое разделение металлов титаномагнетитовых руд // Вестник ЮУрГУ. – 2006. – № 10. – С. 49-55.

#### REFERENCES

[1] Naimanbaev M.A., Ulasiuk S.M., Smirnov K.M., Onaev M.I., Kasymzhanov K.K. Issledovanie sostava i tekhnologicheskikh svoistv il'menitovogo kontsentrata s povyshennym soderzhaniem khroma. Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ia. **2016**. N 2. P. 33-39 (in Russian).

[2] Asanov A.V., Bukharina V.E, Mal'kov N.V., Senin A.V., Roshchin A.V. Termodinamicheskii analiz protsessoa tverdogfaznoi metallizatsii zhelezotitanovykh kontsentratov Kopanskogo mestorozhdeniia. Vestnik IuUrGU. **2008**. N 24. P. 5-8 (in Russian).

[3] Roshchin V.E., Roshchin A.V., Mal'kov N.V. Mekhanizm khimicheskogo vzaimodeistviia i prevrashcheniia oksida v metall pri tverdogfaznom vosstanovlenii vkraplennykh khromitov. V sb. Problemy i perspektivy ferrosplavnogo proizvodstva. Aktiubinsk: Izd-vo «Nobel», **2003**. P. 410-417 (in Russian).

[4] Belonozhko N.D., Kozlov V.A., Pavlov A.V., Batrakova L.Kh., Shaiakhmetova R.A., Onaev M.A. Vliianie dobavok na protsessy vosstanovitel'nogo obzhiga i selektivnogo iz-vlecheniia zheleza i titana iz il'menita. Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ia. **2000**. N 3-4. P. 34-40 (in Russian).

[5] Pavlov A.V., Naimanbaev M.A. Termodinamicheskii analiz protsesssa vosstanovleniia il'menita. Trudy V Mezhdunarodnoi konferentsii «Innovatsionnye razrabotki i sovershenstvovanie tekhnologii v gorno-metallurgicheskom proizvodstve». Ust'-Kamenogorsk, **2009**. P. 289-293 (in Russian).

[6] Balkhybekov S.S., Pavlov A.V., Kantemirov M.D., Kulambaev B.O., Onaev M.I., Stepanenko A.S. O kharaktere kataliticheskogo vozdeistviia malykh dobavok khloridov shche-lochnykh metallov i ikh vliiani na intensivatsiiu i polnotu protsessii protsessu tverdogaznogo karbotermicheskogo vosstanovleniia il'menita. Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posviashchennoi 80-letiiu E.A. Buketova. Karaganda, **2005**. P. 341-344 (in Russian).

[7] Chufarov G.I., Tatievskaya E.P. Adsorbtsionno-kataliticheskaya teoriya vossta-novleniia okislov metallov. M.: Metallurgiya, **1970**. P.139-148 (in Russian).

[8] Kantemirov M.D., Balkhybekov S.S. Kislotno-osnovnoi kataliz malymi dobavkami khloridov shchelochnykh i shche-lochnozemel'nykh metallov pri termicheskom vosstanovlenii il'menita. Vestnik KazNU, seriya khimii: nomer posviashchen 110-letiiu so dnia rozhdeniia akademika AN KazSSR, d.t.n., prof. M.I. Usanovicha. Almaty, **2004**. N 3(35). P. 196-198 (in Russian).

[9] Reznichenko V.A., Morozov A.A. Kompleksnoe ispol'zovanie syr'ia v ekologizirovannom zamknutom proizvodstve. Sb. nauch. trudov «Fundamental'nye issledovaniia fizikokhimii metallicheskikh rasplavov». M.: Akademkniga, **2002**. P. 371-382 (in Russian).

[10] Roshchin A.V., Gribanov V.P., Asanov A.V. Selektivnoe vosstanovlenie i pirome-tallurgicheskoe razdelenie metallov titanomagnetitovykh rud. Vestnik IuUrGU. **2006**. N 10. P. 49-55 (in Russian).

**М. И. Онаев, С. М. Уласюк, М. А. Найманбаев, Е. К. Маркаев, К. К. Касымжанов**

«Металлургия және кен байыту институты» Акционерлік қоғамы, Алматы, Қазақстан

### **ИЛЬМЕНИТТИ ХРОМЫ БАР КОНЦЕНТРАТТАН ТЕМІР МЕН ХРОМДЫ АЛУ**

**Аннотация.** Кеуекті титан және титан тетрахлоридті титан құрайтын қожды қайта өңдеудің процесін ильменитті концентраттағы хромның құрамының жоғары болуы қиындатады. Ильменитті концентрацияның 900-1200°C алдын-ала көмір термиялық қалпына келтіругенегізделген олардан келесі бөлуімен электромагнитті сепарация көмегімен тотыққан темір мен хромның ең көп өнеркәсіптік қолдану тәсілдер алады, ал магнитсіз титан хромды фракцияны хромнан және т.б. қоспалардан тазалау мақсатымен гидрохимиялық қазымдауға жіберіледі. Хромыбар ильменитті концентрациясының қатты фазалық селективті тотықсыздауын 1250°C температурада жүргізу қажет екені анықталды және ұстау ұзақтылығы 2 сағат. Шихтаға натрий хлоридінің 8% көлемін салу ильмениттен темірді тотықсыздау процесін жеделдетеді. Магнитті фракциядағы темірді тотықсыздап алу 76,1%, хром 55,8%, титан 15,3% құрайды. Титан хромды фракция хромнан титанның қосындысын бөлу үшін есептелген соданың құрамымен 850°C температурада 2 сағат аралығында күйе-жентектейді және ыстық сумен 95-100°C температурада ерітінділейді (Т:Ж=1:4) және 120 мин аралығында араластырады. Хромды ерітіндіге бөліп алу 83,6% құрайды. Байытылған титанды концентрат 6,2% темір, 36,2% титан және 0,42% хромды құрайды.

**Түйін сөздер:** ильменитті концентрат, хромның құрамының жоғары болуы, тотықсыздап күйдіру, магнитті сепарация, спецкокс, сода, натрий хлориді, ерітінділеу.

**NEWS**

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES**

ISSN 2224-5278

Volume 4, Number 424 (2017), 200 – 207

**M. A. Naimanbayev, N. G. Lokhova, M. N. Kviatkovskaia, Zh. A. Baltabekova, A. E. Barkytova**

Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: madali@inbox.ru

**PHASE TRANSFORMATIONS OF HYDRATED TITANIUM DIOXIDE  
AT THERMAL PROCESSING**

**Abstract.** The primary method of the titanium dioxide production is the thermal hydrolysis of solutions of titanium sulphate or titanium hydrochloride and calcination of the derived hydrated titanium dioxide.

Not only the conditions of thermohydrolysis, but also the conditions for opening the feedstock, the separation of titanium from the impurities, have a significant affect to the temperature regime of the calcination of hydrated titanium oxide, and therefore the phase transformations in the dehydration of hydrated titanium oxide were studied. The work contains the results of thermal and X-ray diffraction analysis of the hydrated titanium oxide dewatering product obtained by processing low-titanium slags in an acidiferous manner.

Thermal analysis showed that while calcining of the hydrated product in an rare gas atmosphere, the elimination of crystallization water occurs in the temperature range of 235-264 °C at the first stage, anatase appears at 475.9 °C, which react to form of rutile at 797 °C. It is noted that the transformation of brookite into rutile occurs at 1012.5 °C.

The presence of titanium oxides of lower valence was found during the thermal analysis. A dark-purple oxide  $Ti_2O_3$  occurred at 181 °C, and yellow titanium oxide  $TiO$  at 981.9 °C, which significantly reduces the quality of the pigment. Visual examination of the cinder showed that the surface layer is painted in lilaceous color, then a strip of yellow color is observed. The main color is white which is specific to rutile. Undoubtedly, variously colored impurities reduce the quality of pigmentary titanium dioxide.

The hydrated titanium oxide dewatering product study in an oxidizing atmosphere by X-ray diffraction analysis method showed that at 500 °C a partial dehydration of the initial slightly crystallized product occurs. The increase of calcination temperature up to 900 °C leads to the formation of crystalline rutile.

**Keywords:** hydrated titanium dioxide, dehydration, thermal analysis, X-ray diffraction analysis, calcination, rutil

УДК 661.882.22

**М. А. Найманбаев, Н. Г. Лохова, М. Н. Квятковская, Ж. А. Балтабекова, А. Е. Баркытова**

Институт металлургии и обогащения, Алматы, Казахстан

**ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ГИДРАТИРОВАННОГО  
ДИОКСИДА ТИТАНА ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ**

**Аннотация.** Основным способом производства диоксида титана является термогидролиз растворов серно- или солянокислого титана и прокаливание полученного гидратированного диоксида титана. На температурный режим прокаливания гидратированного оксида титана в значительной степени влияют не только условия термогидролиза, но и условия вскрытия исходного сырья, отделения титана от примесных компонентов, поэтому проведено исследование фазовых превращений в процессе дегидратации гидратированного оксида титана.

В работе представлены результаты термического и рентгенофазового анализа продуктов обезвоживания гидратированного оксида титана, полученного при переработке низкотитановых шлаков кислотным способом. Термическим анализом установлено, что при прокаливании гидратированного продукта в атмосфере инертного газа на первом этапе в интервале температур 235-264 °C происходит удаление кристаллизационной



воды, при 475,9 °С проявляется анатаз, который переходит в рутил при 797 °С. Отмечено превращение брукита в рутил при 1012,5 °С. В ходе термического анализа установлено присутствие оксидов титана низшей валентности. При температуре 181 °С проявился темно-фиолетовый оксид  $Ti_2O_3$ , а при 981,9 °С желтый оксид  $TiO$ , что значительно снижает качество пигмента. Визуальный осмотр огарка показал, что поверхностный слой окрашен в бледно-фиолетовый цвет, потом наблюдается полоска желтого цвета. Основным цветом является белый характерный для рутила. Несомненно, примеси различных цветов снижает качество пигментного диоксида титана.

Исследование продуктов обезвоживания гидратированного оксида титана в окислительной атмосфере методом рентгенофазового анализа показало, что при 500 °С происходит частичное дегидратация исходного слабораскristализованного продукта. Увеличение температуры прокалики до 900 °С приводит к образованию кристаллического рутила.

**Ключевые слова:** гидратированный диоксид титана, дегидратация, термический анализ, рентгенофазовый анализ, прокалика, рутил.

**Введение.** В соединениях титан проявляет степени окисления +4, +3, реже +2. Известны оксид двухвалентного титана  $TiO_2$  золотисто-желтого [1] или черного цвета [2] и темно-фиолетовый оксид трехвалентного титана  $Ti_2O_3$  [1].

Диоксид титана существует в виде трех модификаций [3]: брукит белого цвета ромбической сингонии, бесцветный или синий рутил и анатаз коричнево-черного цвета. Надо отметить, что оксиды титана, как правило, получают при прокалике гидратированного диоксида титана.

Гидратированный диоксид титана  $TiO_2 \cdot 2H_2O$  – ортотитановая кислота – образуется на холоду при действии на раствор, содержащий катионы  $Ti$  (IV), какой-либо солью слабой кислоты или едкими щелочами и аммиаком.

Свежеосажденная ортотитановая кислота хорошо растворяется в разбавленных минеральных и сильных органических кислотах. Практически не растворяется в растворах щелочей. Легко пептизируется с образованием устойчивых коллоидных растворов. При длительном кипячении переходит в метатитановую кислоту  $TiO_2 \cdot H_2O$ , малорастворимую в разбавленных кислотах [4].

По сведениям [5] структура образующегося при старении диоксида титана определяется условиями осаждения. При осаждении аммиаком из солянокислых растворов при  $pH < 2$  диоксид титана имеет структуру рутила, при  $pH 2-5$  – структуру анатаза. При  $pH > 7$  осадки диоксида титана рентгеноаморфные.

Известно [6], что температурный режим воздействия на твердые тела влияет на их кристаллическую структуру. В связи с этим представляет практический интерес исследование влияния термической обработки гидратированного оксида титана на свойства образующегося оксида титана.

В работе [7] термографическим методом анализа исследовали процесс обезвоживания ортотитановой кислоты  $TiO_2 \cdot 2H_2O$ . На кривой ДТА зафиксировано два экзотермических эффекта – при 500 и 690 °С. Рентгенофазовым методом анализа установлено, что при 500 °С образуется неустойчивая, менее выраженная модификация анатаза, образец после прокалики при 700 °С содержит смесь анатаза и рутила, а при прокалике при 900 °С образец содержит монофазу рутила.

По данным [8] при переработке титановых шлаков аммиачным способом образуется титанат аммония, при прокалике которого при 350 °С в течение 4 ч образуется пигментный диоксид титана в форме анатаза с размером частиц <44-37 мкм.

Экспериментальные результаты [9] по разложению титанового шлака растворами гидроксида натрия с последующей трансформацией титаната натрия в ортотитановую кислоту  $H_4TiO_4$  воздействием раствором серной кислоты при  $pH 0,3$ , температуре 105 °С в течение 5 ч показали, что прокалика полученного продукта при 450 °С обусловила образование анатаза с размером частиц 0,5-1,0 мкм.

Другой способ получения пигментного диоксида титана из богатого титанового шлака [10] включает разложение шлака в плаве гидроксида натрия. Образующийся титанат натрия растворяют в серной кислоте. После очистки из раствора термогидролизом выделяют осадок метатитановой кислоты  $H_3TiO_3$ , который прокаливают при 800 °С с получением хорошо раскristализованного анатаза со средним размером частиц около 0,2 мкм.

По новой технологии для промышленного получения качественного пигментного диоксида титана [11] спек титанового шлака с гидроксидом натрия после водного выщелачивания растворяли

в соляной кислоте, подвергали гидролизу при низкой температуре для выделения ортотитановой кислоты  $TiO_2 \cdot 2H_2O$ . Полученный осадок растворяли в 5M соляной кислоте. После экстракционного удаления железа с применением аминного экстрагента рафинат подвергали высокотемпературному гидролизу с получением метатитановой кислоты, которую прокаливали при 650 °С в течение 2 ч с получением пигментного диоксида титана в форме анатаза с размером сферических частиц 0,3-0,5 мкм.

Известен гидрометаллургический способ получения пигментного диоксида титана из ильменита [12], включающий выщелачивание руды раствором соляной кислоты, разделение титана и железа методом двухстадийной экстракции. На первой стадии с использованием фосфорорганического экстрагента, на второй – аминсодержащего экстрагента. Проводят гидролиз второго рафината, содержащего титан. После прокаливания продукта гидролиза в муфельной печи при 920 °С в течение 90 мин образуется кристаллический рутил. После размола получается пигментный диоксид титана с размером частиц около 250 нм.

Анализ научно-технической и патентной литературы показал, что на температурный режим прокалики гидратированного оксида титана в значительной степени влияют не только условия термогидролиза, но и условия вскрытия исходного сырья, отделения титана от примесных компонентов (природа реагентов, температура ведения процессов и т.д.). Так, в приведенных выше исследованиях температура образования анатаза из продукта термогидролиза варьируется от 450 до 800 °С.

Цель работы – исследование фазовых превращений в процессе дегидратации гидратированного оксида титана.

#### Экспериментальная часть.

*Материал.* Гидратированный оксид титана получен при переработке некондиционного титанового шлака путем сплавления с содой, с последующим водным выщелачиванием хрома и других водорастворимых примесей, солянокислотным выщелачиванием железа и марганца, очисткой от кремния. Химический состав продукта приведен в таблице.

Содержание основных компонентов в гидратированном оксиде титана, мас. %

The content of the main components in the hydrated titanium oxide, % of weight

TiO <sub>2</sub>	Al	Si	P	S	Cl	Ca	Fe	Zn	H <sub>2</sub> O
91,31	0,014	0,167	0,005	0,005	1,622	0,008	0,008	0,004	5,45

Согласно расчетам, основанных на данных рентгенофлуоресцентного метода анализа, содержание кристаллизационной воды в образце составляет 5,45 мас. %. Гидрат диоксида титана можно представить формулой  $TiO_2 \cdot 0,35H_2O$ .

*Методы анализа.* Рентгенофлуоресцентный анализ осуществляли на спектрометре с волновой дисперсией Venus 200 PANalytical B.V. (PANalytical B.V., Голландия). Термический анализ выполняли с использованием прибора синхронного термического анализа STA 449 F3 Jupiter. Обработка результатов производилась посредством программного обеспечения NETZSCH Proteus.

*Методика эксперимента.* При проведении термического анализа из печного пространства откачивался воздух (уровень достигаемого вакуума 92 %) с последующей продувкой инертного газа со скоростью 10 и 15 °С/мин в атмосфере высокоочищенного аргона. Объем поступающего газа – 60 см<sup>3</sup>/мин.

При проведении экспериментов основное внимание уделено определению температур эффектов, а также фазовому анализу исследуемого образца.

Термическое исследование образца проводили в нескольких режимах:

- режим ТГ с использованием ТГ-держателя проб, со скоростью нагрева 10 °С/мин. Масса навески пробы 0,741 г. В этом режиме основным параметром является изменение массы навески. Кривая ДТА получается математическим путем. Такой подход позволил увеличить массу навески, что, в свою очередь, помогло выявлению дополнительных проявлений на термических кривых;

- режим ДТА/ТГ с использованием ДТА/ТГ-держателя проб, со скоростью нагрева 15 °С/мин. Величина массы навески составила 0,123 г;

- режим ДТА/ТГ с использованием ДТА/ТГ-держателя проб, со скоростью нагрева 15 °С/мин. С целью получения большого объема информации навеску образца массой 0,307 г уплотняли в тигле и нагревали.

Высокотемпературную дегидратацию проводили в муфельной печи «SNOL-1300» (Литва) с автоматическим контролем температуры. Точность измерения температуры составляла 5 °С.

**Результаты и обсуждение.** На рисунке 1 представлена дериватограмма, полученная в условиях первого режима измерений.

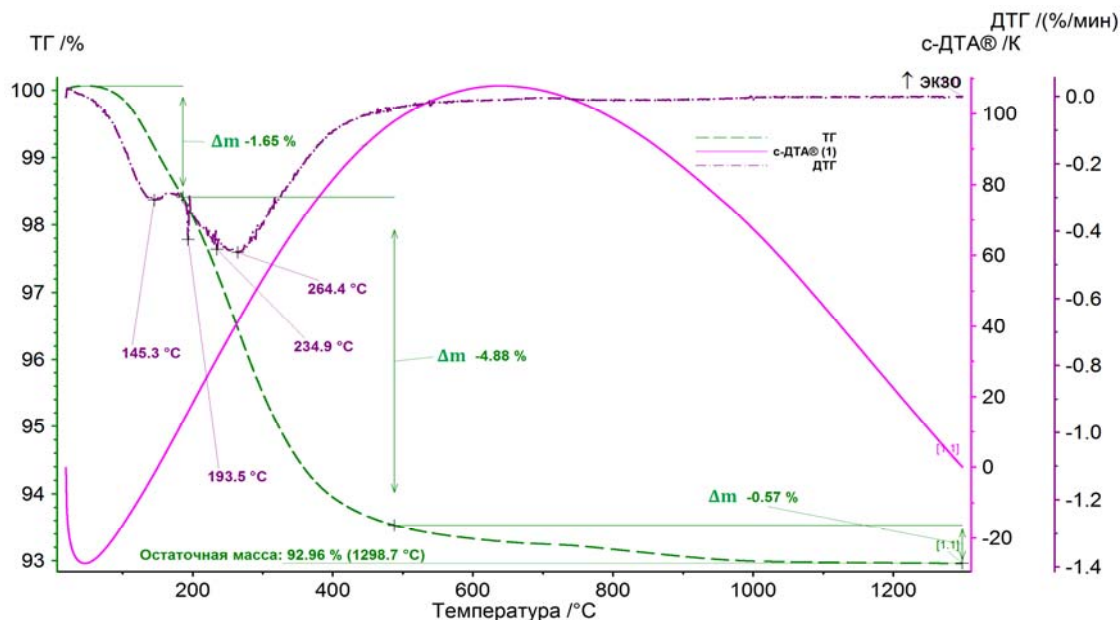


Рисунок 1 – Дериватограмма гидратированного диоксида титана, полученная в режиме ТГ

Figure 1 – Thermogram of hydrated titanium dioxide obtained in thermogravimetric mode

На кривой ДТГ зафиксированы интенсивные минимумы при 145,3 °С и при 264,4 °С. Дополнительно, на ниспадающей ветви последнего минимума наблюдаются слабые минимумы при 193,5 и 234,9 °С. В области развития минимума 145,3 °С происходит удаление хлороводорода HCl, сопровождающееся потерей 1,65 % массы образца, а при 264,4 °С – интенсивное выделение кристаллизационной воды.

На рисунке 2 приведена дериватограмма образца гидратированного оксида титана, полученная в режиме ДТА/ТГ.

На кривой ДТА (рисунок 2) проявился эндотермический эффект с максимальным развитием при 149,3 °С, а также экзотермические эффекты с пиками при 475,9 и 797 °С. На кривой ДТГ зафиксированы два минимума при 140,8 и 262,9 °С. На кривой dDTA наблюдаются слабые эндотермические эффекты с максимальным развитием при 181, 219,4 и 643,2 °С.

Эндоэффект при 149,3 °С характеризует выделение хлороводорода в газовую фазу, на кривой ДТГ данному процессу соответствует минимум при 140,8 °С.

Дегидратация образца отражена минимумом на кривой ДТГ при 262,9 °С. При этом имеет место перестройка кристаллической решетки и экзотермический эффект при 475,9 °С отражает кристаллизацию анатаза, который претерпевает полиморфное превращение α-формы в β-форму (эндотермический эффект при 643,2 °С).

Дальнейшее нагревание пробы способствует переходу структуры продукта в рутил, кристаллизация которого характеризуется экзоэффектом при 797 °С.

Известно [9], что в титановом шлаке основное количество титана присутствует в четырехвалентном состоянии, значительно меньше в двух- и трехвалентном.

Наличие оксидов титана низшей валентности в исследуемом образце подтверждают эндотермические эффекты на кривой dDTA. Так, максимум при 181 °С связан с полиморфным превращением α- Ti<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в β- Ti<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [1].

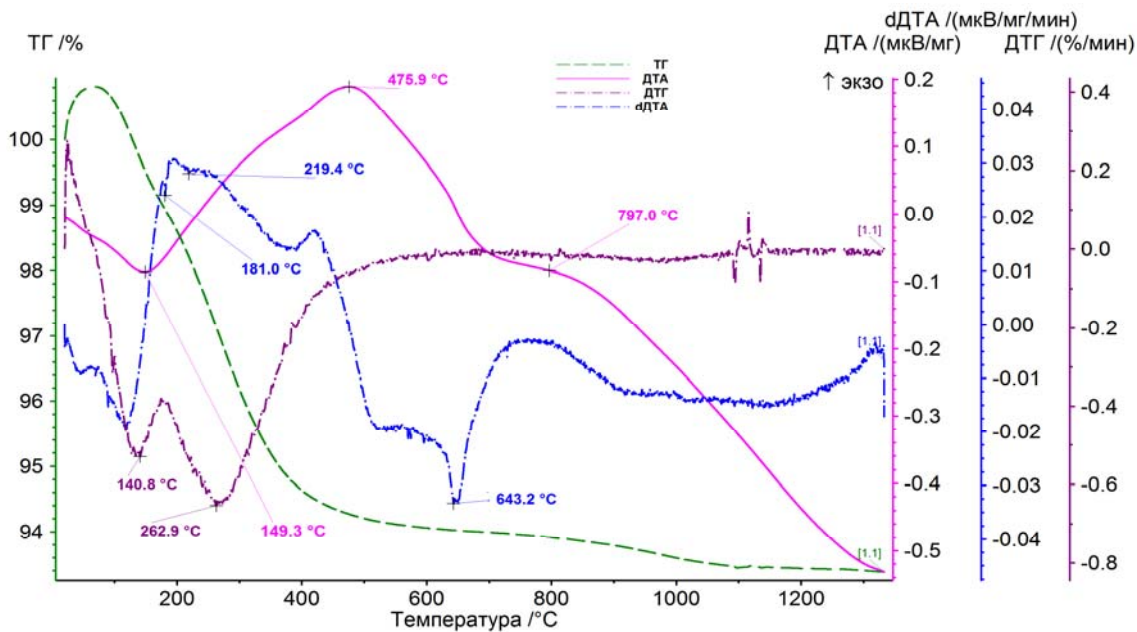


Рисунок 2 – Дериватограмма гидратированного диоксида титана, полученная в режиме ДТА/ТГ

Figure 2 – Thermogram of hydrated titanium dioxide obtained in differential thermal analysis/thermogravimetric mode

На рисунке 3 приведена дериватограмма гидратированного оксида титана, полученная в режиме ДТА/ТГ с уплотнением в тигле навески образца.

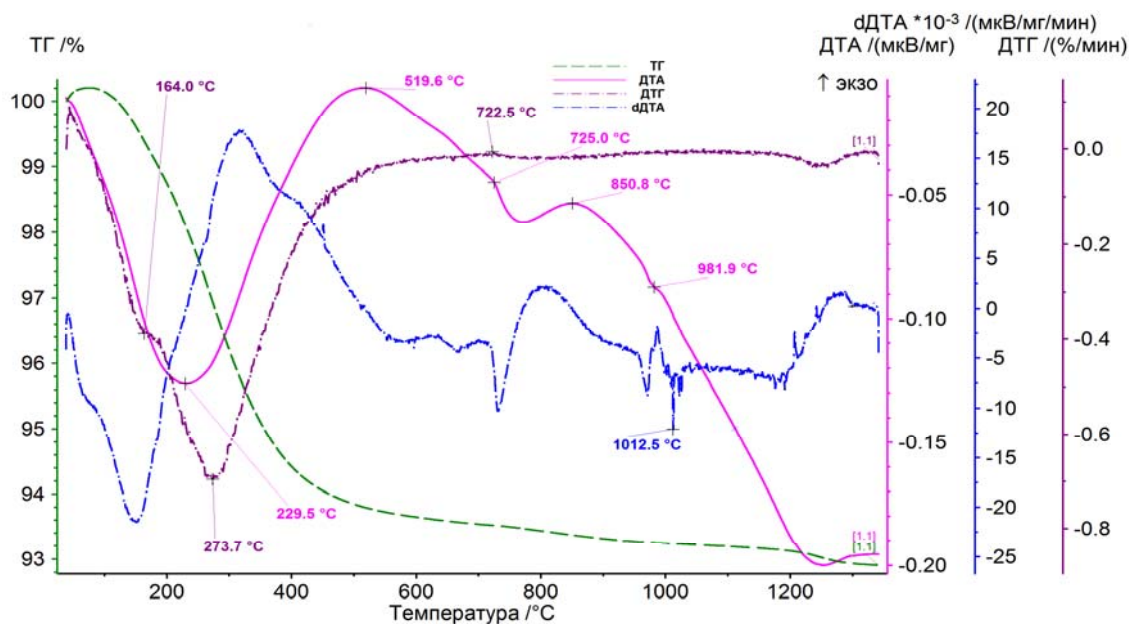


Рисунок 3 – Дериватограмма образца гидратированного диоксида титана

Figure 3 – Thermogram of hydrated titanium dioxide sample

На полученных термических кривых выявлены дополнительные эффекты. Так, помимо экзотермических эффектов на кривой ДТА, отражающих кристаллизацию анатаза и рутила (519,6 °С, 850,8 °С), наблюдается экзотермический эффект с пиком при 725 °С, сопровождающийся небольшим увеличением массы навески, о чем свидетельствует слабый максимум при 722,5 °С на кривой ДТГ, что характеризует процесс окисления низковалентного титана. Также на кривой ДТА зафик-

сирован эндотермический эффект с экстремумом при 981,9 °С. Это значение близко к значению температуры полиморфного превращения для TiO ( $\alpha \rightarrow \beta$ ) и дает основание предполагать наличие упомянутой фазы в исследуемой пробе. На кривой dDTA присутствует эндотермический эффект с экстремумом при 1012,5 °С, относящийся к переходу брукита в рутил [1]. Согласно [2] это превращение относится к медленным превращениям, но при температурах выше 800 °С, используя флюсы, можно добиться высоких скоростей превращения. Показано, что присутствие в атмосфере в процессе нагрева хлороводорода приводит к быстрому переходу брукита в рутил.

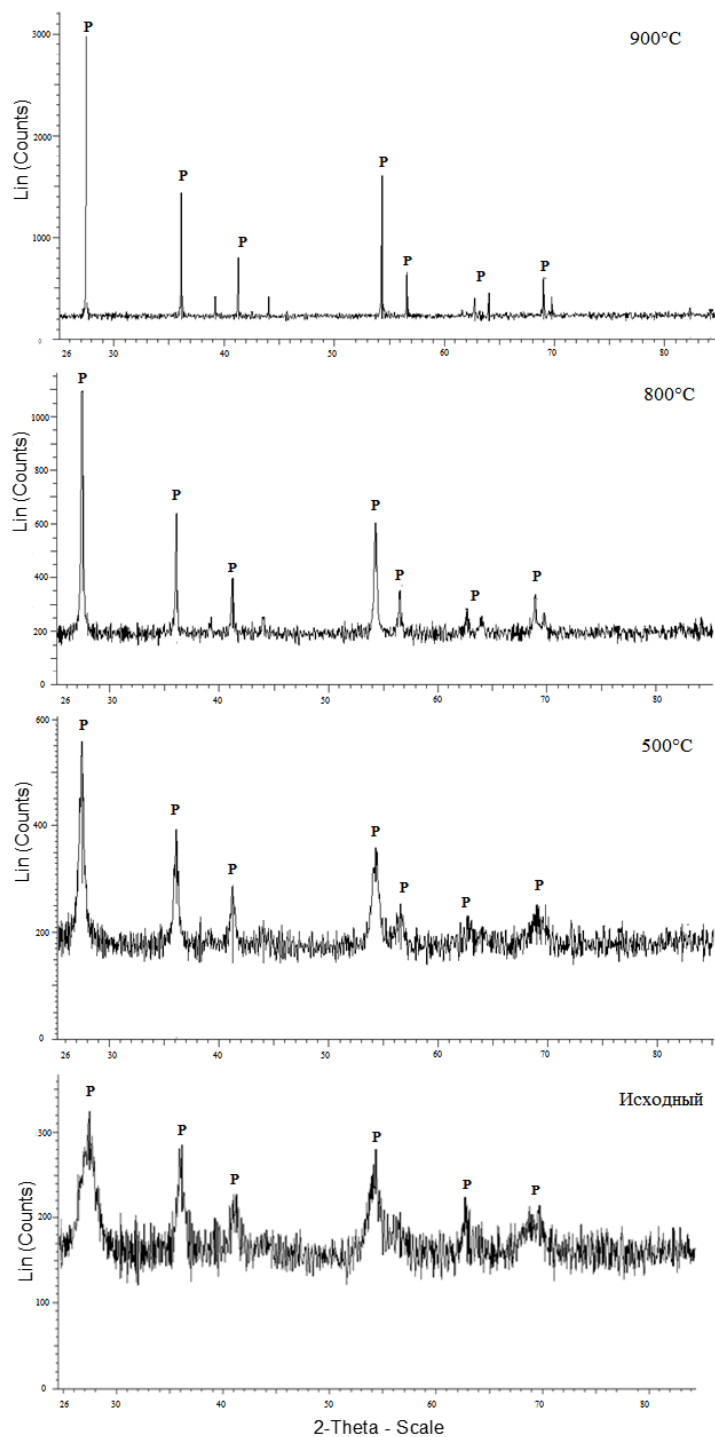


Рисунок 4 – Дифрактограммы исходного гидратированного оксида титана и продуктов дегидратации

Figure 4 – Thermograms of initial hydrated titanium oxide and dehydration product

Надо отметить, что в пробе испытуемого образца присутствует соляная кислота, которая выделяется в газовую фазу при нагревании и ускоряет превращение брукита в рутил при температуре 1012,5 °С.

Анализ полученных результатов показал, что в исследуемом образце присутствуют гидраты оксидов титана в различной степени окисления. Такой вывод подтверждается видом продукта дегидратации после нагрева до 1300 °С в среде аргона, поверхностный слой которого окрашен в бледно-фиолетовый цвет, характерный для  $Ti_2O_3$  [1]. Затем наблюдается полоска желтого цвета. Основная масса огарка – белого цвета. По данным [1,3] желтый цвет характерен для  $TiO$ , а белый – для рутила  $TiO_2$ .

Таким образом, при прокатке гидратированного продукта в атмосфере инертного газа образуется рутил с примесью смеси оксидов титана низшей валентности окрашенных в различные цвета, что значительно снижает качество пигмента.

Следовательно, для получения монофазного диоксида титана, например рутила, прокатку гидратированного оксида титана необходимо проводить в окислительной атмосфере.

С целью исследования влияния температуры прокатки на получение кристаллического рутила проведена серия экспериментов в интервале температур 500-1250 °С.

Результаты рентгенофазового анализа показали (рисунок 4), что исходный продукт представлен слабо раскристаллизованным, почти аморфным гидратированным рутилом.

Прокаливание исходного продукта при 500 °С в течение 2 ч привело к более значительному обезвоживанию. Сокращение площади пиков на дифрактограмме продукта прокатки при 800 °С характеризует возрастание степени кристаллизации рутила.

Дегидратация, проведенная при 900 °С, позволяет получать хорошо раскристаллизованный рутил.

Дифрактограмма продукта прокатки при 1250 °С полностью совпадает с дифрактограммой продукта прокатки при 900 °С.

**Выводы.** Исследования показали, что структура продукта, полученного в результате прокатки гидратированного оксида титана, зависит не только от температуры, но и от того в какой атмосфере проводится процесс дегидратации. Для получения хорошо раскристаллизованного монофазного рутила необходимо проводить прокатку в окислительной атмосфере при температуре 900 °С.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Физико-химические свойства окислов. Справочник. – М.: Metallurgiya. 1978. – 472 с.
- [2] Герасимов Я.И., Крестовников А.Н., Шахов А.С. Химическая термодинамика в цветной металлургии. – М.: Metallurgizdat, 1963. – Т. 3. – 283 с.
- [3] Справочник химика. – М.: Химия, 1964. – Т. 2. – 1168 с.
- [4] Алексеев В.Н. Курс качественного химического полумикроанализа. – М.: Химия, 1973. – 584 с.
- [5] <http://chem.eurohim.ru>
- [6] Кауффе К. Реакции в твердых телах и на их поверхности. – М.: ИЛ, 1962. – Ч. 1. – 423 с.
- [7] Ивашенцев Я.И., Корытцева Л.Н., Черепанова В.Я. Исследование влияния термической обработки на реакционную способность оксидов титана, циркония и гафния // Журнал прикладной химии. – 1979. – № 6. – С. 1399-1401.
- [8] Nayl A.A., Ismail I.M., Aly H.F. Ammonium hydroxide decomposition of ilmenite slag // Hydrometallurgy 98. – 2009. – P. 196-200
- [9] Tianyan Xue., Lina Wang, Tao Qi, Jinglong Chu, Jingkui Qu, Changhou Liu. Decomposition kinetic of titanium slag in sodium hydroxide system // Hydrometallurgy 95. – 2009. – P. 22-27.
- [10] Desheng Chen, Longsheng Zhao, Yahui Liu, Tao Qi, Jianchong Wang, Lina Wang. A novel process for recovery of iron, titanium, and vanadium from titanomagnetite concentrates: NaOH molten salt roasting and water leaching processes // Journal of Hazardous Materials. – 2013. – № 244-245. – P. 588– 595
- [11] Scott Middlemas, Z. Zak Fang, Peng Fan. A new method for production of titanium dioxide pigment // Hydrometallurgy. – 2013. – № 131-132. – P. 107-113
- [12] Pat. US6375923 B1 Processing titaniferous ore to titanium dioxide pigment // Duyvesteyn W., Sabachy B., Verhulst D., P West-Sells P.G., Spittler T.M., Vince A., Burkholder J.R., Paulus B.J., Huls M. publ. 23.04.2002.

#### REFERENCES

- [1] Fiziko-khimicheskie svoystva okislov. Spravochnik. M.: Metallurgiya. 1978. 472 p. (in Russ.).
- [2] Gerasimov Ya.I., Krestovnikov A.N., Shahov A.S. Khimicheskaya termodinamika v tsvetnoy metallurgii. M.: Metallurgizdat, 1963. Vol. 3. 283 p.

- [3] Spravochnik khimika. M.: Khimiya, **1964**. Vol. 2. 1168 p. (in Russ.).
- [4] Alekseev V.N. Kurs kachestvennogo khimicheskogo polumikroanaliza. M.: Khimiya, **1973**. 584 p. (in Russ.).
- [5] <http://chem.eurohim.ru>
- [6] Kauffe K. Reakcii v tverdykh telakh i na ikh poverkhnosti. M.: IL, **1962**. Ch. 1. 423 p. (in Russ.).
- [7] Ivashentsev Ja.I., Koryttseva L.N., Cherepanova V.Ya. Issledovanie vliyaniya termicheskoy obrabotki na reakcionnyuyu sposobnost' oksidov titana, tsirkoniya i gafniya // Zhurnal prikladnoj khimii. **1979**. N 6. P. 1399-1401 (in Russ.).
- [8] Nayl A.A., Ismail I.M., Aly H.F. Ammonium hydroxide decomposition of ilmenite slag // Hydrometallurgy 98. **2009**. P. 196-200.
- [9] Tianyan Xue., Lina Wang, Tao Qi, Jinglong Chu, Jingkui Qu, Changhou Liu. Decomposition kinetic of titanium slag in sodium hydroxide system // Hydrometallurgy 95. **2009**. P. 22-27.
- [10] Desheng Chen, Longsheng Zhao, Yahui Liu, Tao Qi, Jianchong Wang, Lina Wang. A novel process for recovery of iron, titanium, and vanadium from titanomagnetite concentrates: NaOH molten salt roasting and water leaching processes // Journal of Hazardous Materials. **2013**. N 244-245. P. 588-595.
- [11] Scott Middlemas, Z. Zak Fang, Peng Fan. A new method for production of titanium dioxide pigment // Hydrometallurgy. **2013**. N 131-132. P. 107-113
- [12] Pat. US 6375923 B1 Processing titaniferous ore to titanium dioxide pigment. Duyvesteyn W., Sabachy B., Verhulst D., P West-Sells P.G., Spitler T.M., Vince A., Burkholder J.R., Paulus B.J., Huls M. publ. **23.04.2002**.

**М. А. Найманбаев, Н. Г. Лохова, М. Н. Квятковская, Ж. А. Балтабекова, А. Е. Баркытова**

Металлургия және кен байыту институты, Алматы, Қазақстан

#### **ГИДРАТТЫ ДИОКСИД ТИТАНЫНЫҢ ТЕРМОӨНДЕУ ПРОЦЕССИ КЕЗІНДЕГІ ФАЗАЛЫҚ ӨЗГЕРІСІ**

**Аннотация.** Диоксид титан өедірісінде басты әдістерінің бірі болып күкірт және тұз қышқылы ерітінділерінің термогидролизі және гидраттық диоксид титанын күйдіру болып табылады. Гидратты титан оксидін күйдіру барысында температуралық режиміне тек термогидролиз процесі ғана емес, сонымен қатар бастапқы шикізатты алу, титанды қосалқы компоненттерден бөліп алу шарттары әсер етеді, сондықтан гидраттық титан оксидін дегидраттау процесінде фазалық өзгерістерін зерттеу жұмыстары жүргізілді. Зерттелген жұмыста төмен сапалы титан шлагы қышқылдық әдіспен алынып, сусыздандырылған титан оксид гидратының термиялық және рентгенофазалық анализдері көрсетілген. Термиялық анализбен анықталғаны: бірінші этапта гидратты өнімді 235-264 °С температурада инертті газ атмосферасында жүргізген кезде кристалдық судың жойылуы, ал 475,9 °С-та анатаздың пайда болуы байқалып, 797 °С-та рутилге айналады. 1012,9 °С-та брукиттің рутилге айналғаны байқалған. Термиялы анализ барысында оксидінің төменгі валенттілігі анықталды. 181 °С аралығында  $Ti_2O_3$  байқалғаны анықталды, ал 981,9 °С аралығында пигменттің сапасын төмендететін  $TiO$  оксиді байқалды. Күйіндінің сырттай көрінісімен жоғарғы қабаты күлгін түске боялып, сары түсті сызығы көрінді. Рутилдің түсі өзіне лайық ақ түс болып табылады. Күмәнсіз, әртүрлі түсті қоспалар пигментті титан диоксидінің сапасын түсіреді. Гидратталған титан оксидін оттекті атмосферада сусыздандыру процесін жүргізе отырып, рентгенофазалы анализ көрсеткіші бойынша 500 °С-та әлсіз кристаллдардың ыдырау өнімінің бөлшекті дегидратациясы бақалды. Күйдіру процесінің температурасын 900 °С-қа дейін көтеру кристаллды рутилдің пайда болуына алып келеді.

**Түйін сөздер:** гидратталған титан оксиді, дегидратация, термиялы анализ, рентгенофазалы анализ, күйдіру, рутил.

**NEWS**

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES**

ISSN 2224-5278

Volume 4, Number 424 (2017), 208 – 218

UDC 537.523.3:541.13

**Sh. A. Bahtaev, G. V. Bochkareva, G. D. Musapirova**

Almaty university of power engineering and telecommunications, Kazakhstan.

E-mail: bgw@mail.ru mgulz1@yandex.ru

**NON-CONTACT MEASUREMENT METERS OF MICRO-SIZES  
ON CORONARY DISCHARGE**

**Abstract.** The basis for non-contact cores micrometers on corona discharge is the results of studies of the high-frequency (HF) conductivity of the plasma of the corona discharge case, the method for determining the radius of curvature of the surface of the corona electrode, methods and devices for monitoring and measuring the diameter of micro wires. The investigations were carried out when a large constant voltage and a small HF alternating voltage are applied simultaneously to the discharge gap, which is carried out by supplying an additional high voltage between the electrodes with an amplitude lower than the value of the high-voltage DC voltage, while in the plasma of the corona discharge case the mode of the resonant oscillatory process is established.

**Keywords:** corona discharge, radius of curvature, HF conductivity, microelectrodes, crown cover, electronic component.

**Introduction.** The presence of a measuring probe in the ionization region of the corona discharge greatly violates the distribution of the field density and space charges. In this connection, a method for HF diagnostics of a corona discharge plasma was developed, when a low-amplitude HF alternating voltage is applied to the discharge gap. Probing with HF alternating voltage with a small amplitude makes it possible to determine the dependence of the HF conductivity on the parameters of the discharge gap and electrical characteristics of the discharge [1].

In the device, a fully formed corona discharge, i. developed corona, is subjected to an additional alternating voltage with a frequency in the range from 200 Hz to 1.5 MHz with an amplitude of 10 to 100 V. By supplying an alternating voltage with adjustable frequency and with a small amplitude to the corona-discharge gap and measuring the high-frequency (HF) conductivity of this gap, we, as it were, perform HF probing of the developed corona, similar to the method of microwave plasma diagnostics. In this case, the most sensitive to the effect of the HF-field is the corona layer (cover) of the discharge, where, in fact, all the basic ionization processes in the corona discharge occur. Therefore, it is natural to assume that the electron density ( $n_e$ ) and their collision frequency with neutral conductors ( $\nu_m$ ) in the corona cover can be determined from the values of the HF conductivity of the discharge gap by passing a small microwave field used as a probing signal.

The HF-conductivity of the corona-discharge gap is determined by the ratio of the value of the high-frequency current of the corona to the value of the applied alternating voltage. In view of the fact that the probing HF-field has a small amplitude (10÷100 V) in comparison with the main constant voltage (3÷4 kV) supporting the corona discharge, the measured conductivity is called the dynamic differential HF-conductivity ( $q_d$ ) as opposed to the static, determined from the current-voltage characteristic of the corona. When measuring  $q_d$  of the developed corona in a wide range of frequencies (from 200 Hz to 1.5 MHz), a number of anomalies were found in the dependences of  $q_d$  on the probing voltage frequency, frequency location of which also depends on the magnitude of the corona current, on the atmospheric air pressure and on the dimensions of the corona and external electrodes. All measurements were carried out for a positive corona on a micro wire in a coaxial cylinder.



To exclude the effect of the geometric capacity of the discharge chamber, it is also necessary to measure the differential HF-conductivity of the chamber ( $q_e$ ) in the absence of the corona discharge. To do this, we determine the bias current through a given gap at a value of the probe field voltage equal to  $q_d$ . Knowing the total current of the corona gap and the current of its geometrical capacity, it is possible to determine the current called the "compensated" current, which makes it possible to calculate the differential HF-conductivity of the corona itself ( $q_d - q_e$ ).

From the experimental data it follows that the total  $q_d$  ( $f$ ) in the frequency range up to 200 kHz has a plateau (minimum), the location of which depends mainly on the diameter of the outer cylinder. With increasing frequency, the  $q_d$  ( $f$ ) curve slowly increases, reaching a maximum and at a certain frequency, depending on the diameter of the corona wire and the value of the corona discharge current, crosses the conductivity straight line of the geometric capacity of the discharge chamber ( $q_d = q_e$ ), decreasing to a minimum, and then again increases [2].

Figure 1 shows the functional diagram of the device for diagnosing the plasma of a corona discharge case. The proposed device comprises two identical chambers 1 and 2 with identical in shape and size electrodes 3 and 4, a high-voltage power supply 5 and a high-frequency voltage generator 6. The signal outputs from the two current converters 7, which are the resistors, are connected to the inputs of the balance circuit of the difference voltages 8, while the output of the balanced circuit 8 is applied to one of the inputs of the microprocessor 9. The signals from the two arms (points "a" and "b") of the chambers 1 and 2 are fed to the other inputs of the microprocessor via the separation capacitors  $C_1$ . High voltage is supplied to the main corona discharge chamber 1 through the ballast resistance  $R_6$ , and high-frequency voltage is applied to both chambers 1 and 2 through the separation capacitors  $C_2$ . The second ballast resistance  $R_6$ , connected to the point "b" of the additional chamber 2, serves to create the symmetry of the two measuring arms of the device, which also leads to mutual compensation of high frequency pickups on them.

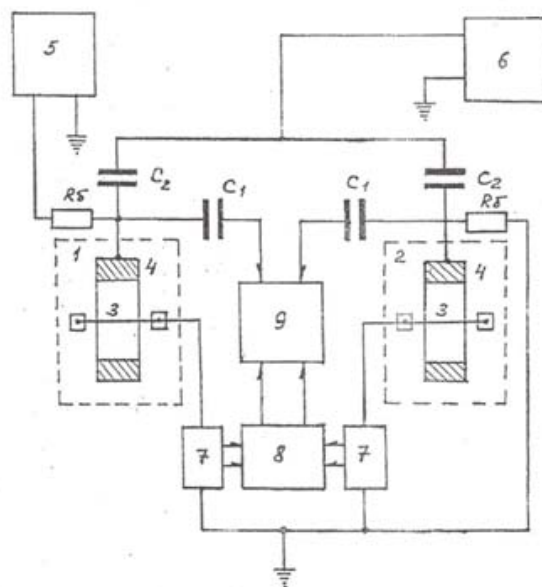


Figure 1 – Functional diagram of the device for diagnosing the plasma of the corona discharge case

When a sufficiently high voltage of negative polarity is applied to the outer cylinder of the main chamber, a corona discharge occurs between it and the corona electrode in the form of a micro wire, a stable shape of the positive unipolar corona shell is formed. When high-frequency voltage is applied to both chambers, the corona cover in the main chamber is probed, while in the additional chamber a capacitive current flows. High-frequency current components, passing through the chambers, are registered by current converters, then they enter the inputs of the balance circuit, where their differences are determined. These differences, only in the cases of  $q_{max}$ ,  $q_0$  ( $q_d = q_e$ ),  $q_{min}$ , are measured by a microprocessor and simultaneously the corresponding resonant frequencies  $f_{max}$ ,  $f_0$ ,  $f_{min}$  are determined. When the experimental values of the characteristic points  $q_d$  and  $f$  on the  $q_d$  ( $f$ ) curve are known, the microprocessor calculates the values  $n_e$  and  $v_m$  according to the given program, corresponding to the corona discharge case plasma.

**Method for determining the thickness of the corona discharge case** [3]. In this case, HF-diagnostics of corona plasma is also used, only with the difference that resonant oscillatory processes are created in the plasma of the corona discharge case by adjusting the frequency of the high-frequency voltage and then calculating the thickness of the corona discharge case by the calculation method.

When constructing the frequency dependence of the HF-conductivity of the corona, it was established from the arithmetic difference between the total current and the displacement current (capacitive) that the values of  $q_d$  may be greater or less than or equal to the value of the HF-conductivity of the discharge gap in the absence of a constant corona current ( $q_e$ ).

For us, of greatest interest is the region when  $q_d = q_e$ , which is primarily the electronic component of the current in the corona discharge case. In this situation, as it were, a plasma resonance occurs in the corona case, i. e. the resistance of the corona case to the alternating voltage becomes minimal (voltage resonance) and the value of  $q_d$  is compared with  $q_e$ . It is established that the frequency  $f_0$ , at which  $q_d - q_e = 0$ , is very sensitive to changes in the thickness of the corona electrode and the corona discharge current. This means that  $f_0$  will primarily depend on the velocity of the electron mean free path in the corona layer of the discharge gap.

Based on the obtained experimental data and theoretical calculations for the positive corona in the cylindrical system of electrodes, the calculated formula for the thickness of the corona layer (case) was derived:

$$L_e = \sqrt{\frac{0,7K_e U_0}{f_0 \ln \frac{R}{r_0}}}, \quad (1)$$

where  $r_0$  and  $R$  – radii of the corona and outer electrodes, cm;  $K_e$  electron mobility in the corona case,  $\text{cm}^2/(\text{B}\cdot\text{c})$ ;  $f_0$  – resonance frequency at  $q_d = q_e$ , Hz;  $U_0$  – alternating current voltage, V.

Thus, if the value of the corona discharge current is constant and for known values of  $R$ ,  $r_0$ ,  $U_0$ ,  $K_e$  and  $f_0$ , the derived calculation formula makes it possible to determine the thickness of the corona case for a given electrode configuration. In other sizes and shapes of the electrode system, a calculation formula is also derived for determining  $L_e$ , starting from the distribution of the electric field and the drift zone of electrons in the corona layer, taking into account the location of the corona case in the area with a field density of 31 kV/cm (minimum breakdown voltage between the electrodes at a distance 1 cm).

To determine the thickness of the corona case, discharge chambers in the form of a cylinder with a diameter of 2 to 36 mm were used, and a microcircuit from tungsten with a diameter of 5 to 50 microns ( $\mu\text{m}$ ) served as the central corona electrode. From the ГС-100И type of generator, an alternating sinusoidal voltage is applied to the chamber with an adjustable frequency from 200 Hz to 1.6 MHz. High voltage to the chamber is supplied from a high-voltage source of the BC-23 type. Parameters of the output AC voltage are measured at a load of 1 kOhm using the ДЭСО-2 oscilloscope, the B3-2A tube voltmeter and the frequency meter 43-22. The current of the corona was set beforehand on the microampere No. 1244 of class 0.2, which was then switched off in order to eliminate the influence of parasitic capacitances and pickups on the accuracy of measuring the main signal. The amplitude of the variable high-frequency voltage was chosen in the range from 2 to 100 V, depending on the steepness of the characteristics of the positive corona and the geometric dimensions of the discharge gap.

The value of  $f_0$  ( $q_d=q_e$ ) for a given configuration of the electrodes and with the constancy of the corona discharge characteristics (constancy of the discharge current and atmospheric conditions) is as follows: firstly, the dependence of the HF-conductivity of the discharge gap ( $q_e$  - capacitive) on the frequency of the alternating voltage in the absence of corona discharge is determined. Then the dependences of the HF-conductivity are constructed in the presence of the corona discharge ( $q_d$ ) and by coincidence  $q_d=q_e$  the value of  $f_0$  is found, which is the calculated value for determining the thickness of the corona discharge case.

The calculated values of the thickness of the corona case are given in Table 1.

The experimental values of  $f_0$  were determined for the corona discharge in the cylindrical electrode system when  $R=0.2$  cm,  $U_0=10$  V,  $I=20$   $\mu\text{A}$ , and for  $K_e=540$   $\text{cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$  its mean value in the corona case under normal conditions of atmospheric air in Almaty ( $p=690$  mm Hg,  $T=20$  °C). The table shows the values of  $f_0$  obtained for different  $r_0$  and the calculated values for the thickness of the corona case  $L_e$ , and for comparison, the values of  $L_e$  calculated from the empirical formula  $1.56 r_0^{0.56}$  are presented.

Table 1 – Calculated values of the thickness of the corona discharge

$r_0$ , cm	$5 \cdot 10^{-4}$	$15 \cdot 10^{-4}$	$30 \cdot 10^{-4}$	$50 \cdot 10^{-4}$
$f_0$ , Hz	$1450 \cdot 10^3$	$1250 \cdot 10^3$	$810 \cdot 10^3$	$300 \cdot 10^3$
$L_e$ , cm	$20.63 \cdot 10^{-3}$	$24.15 \cdot 10^{-3}$	$30.1 \cdot 10^{-3}$	$56.13 \cdot 10^{-3}$
$1.56 r_0^{0.56}$ , cm	$11.1 \cdot 10^{-3}$	$22.82 \cdot 10^{-3}$	$28.02 \cdot 10^{-3}$	$52.4 \cdot 10^{-3}$

The data of the table show that the resonance of the corona case plasma occurs at different frequencies, depending on the value of  $r_0$ , which determines primarily the thickness of the corona layer (case) of the corona discharge. As was to be expected, the  $L_e$  values obtained by the proposed method slightly exceed the known  $L_e$  data for the same series of radii  $r_0$ .

Thus, there is a solution for the task to develop a method for determining the thickness of the corona discharge case, which provides high measurement accuracy due to fixation of the resonant frequency, when the influence of the high-frequency alternating voltage on the measurement results is excluded.

**Method for determining the radius of curvature of the surface of the corona electrode** [4]. The development of the method for determining the radius of curvature of the surface of the corona electrode is also based on the results of studies of the high-frequency (HF) conductivity of the plasma of the corona discharge case, when a large constant voltage and a small HF alternating voltage are applied simultaneously to the discharge gap.

Before proceeding to the consideration of the method for determining the radius of curvature of a corona surface of arbitrary shape, to establish the correctness of its application for solving this problem, it is necessary to check it for electrodes with a simple geometric shape, for example, coaxial cylinders.

For comparing the measured values of the thickness ( $L_e$ ) of the corona case according to this method, the value of the thickness of the corona layer, determined by the Peak formula, can serve as the first approximation. In normal atmospheric conditions ( $\delta=1$ ), it shows that when the corona discharge is ignited, the electric field strength at the distance  $\Delta=0,308\sqrt{r_0}$  (cm) from the corona electrode remains constant for any  $r_0$  and is equal to 31 kV/cm. Neglecting the influence of the space charge in the corona layer ( $E_0 r_0 = E_r$ ), we really get

$$\Delta = \frac{E_0 r_0}{E} - r_0 = \frac{E \left(1 + \frac{0.308}{\sqrt{r_0}}\right) r_0}{E} - r_0 = 0.3 \sqrt{r_0}, \quad (2)$$

which indicates that the thickness of the layer is independent of the discharge current. Apparently, the formula (2) is valid only in the case when  $E_0 r_0 = E_r$ .

At comparable times of the electrons range and the half-period of the probing voltage, the decrease of  $q_d$  to negative values is already observed. To calculate the time range in the first approximation, a distance can be achieved as  $0,3 \sqrt{r_0}$ , but when applied externally. Therefore, it is more correct to determine the shift of the apparent boundary, starting from the values of the half-periods of the alternating voltage  $E \sim$ .

The distribution of the field density of an alternating voltage in a cylindrical system is described by the formula

$$E_r = \frac{U_{\sim}}{(r_0 + L_e) \ln \frac{R}{r_0}}, \quad (3)$$

where  $L_e$  – thickness of the corona layer.

For the range time of the electrons of the distance  $L_e$  it is valid

$$t = \frac{L_e (r_0 + L_e) \ln \frac{R}{r_0}}{k_e U_{\sim}}, \quad (4)$$

taking  $t=T/2$  and indexing the frequency  $f_0$  at  $q_d=q_e$  we determine the dependence of  $L_e$  from  $f_0$  with the help of the formulas (3) and (4)

$$\frac{1}{2f_0} = \frac{L_e(r_0 + L_e) \ln \frac{R}{r_0}}{k_e U_0 \sqrt{2}}, \quad (5)$$

where  $U_0$  – the active value of the alternating voltage, which is equal to ~10, ~30V.

The solution of the equation is in the form of

$$L_e = -\frac{r_0}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{r_0}{2}\right)^2 + \frac{k_e U_0 \sqrt{2}}{2f_0 \ln \frac{R}{r_0}}}, \quad (6)$$

Substituting the value  $K_e=540\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$  and neglecting  $\left(\frac{r_0}{2}\right)^2$ , we get the final formula

$$L_e = -\frac{r_0}{2} \pm 19,7 \sqrt{\frac{U_0}{f_0 \ln \frac{R}{r_0}}}, \quad (7)$$

where  $L_e, R, r_0$  – in cm;  $U$  – in V;  $f_0$  – in Hz.

Thus, if the value of the corona discharge current is constant and for known values of  $R, r_0, U_0, K_e$ , and  $f_0$ , the derived calculated formula allows to determine the thickness of the corona case for a given electrode configuration. With other dimensions and shapes of the electrode system, the calculation formula is also derived for determining  $L_e$ , starting from the distribution of the electric field and the drift zone of electrons in the area with a field density of 31 kV/cm (minimum breakdown voltage between the electrodes at the distance of 1 cm).

The experimental values of  $f_0$  were determined for the corona discharge in the cylindrical electrode system when  $R=0.2\text{ cm}$ ,  $U_0=10\text{ V}$ ,  $I=20\text{ }\mu\text{A}$ , and for  $K_e=540\text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$  its mean value in the corona case under normal conditions of atmospheric air in Almaty ( $\rho=690\text{ mm Hg}$ ,  $T=20^\circ\text{C}$ ).

The expression (7) allows to make qualitative estimates of the value  $L_e$  with the distance  $0,3\sqrt{r_0}$ . The calculations show, that the value  $L_e$  is closed to  $0,3\sqrt{r_0}$ , at frequencies  $f_0$ , though it is  $L_e > 0,3\sqrt{r_0}$ , with a decrease in the diameter of the corona wire. For example,  $L_e=0.029\text{ cm}$  for the values  $R=0.2\text{ cm}$ ,  $r_0=0.005\text{ cm}$ ,  $f_0=1070\text{ kHz}$ ,  $U_0=10\text{ V}$ , and the distance  $0,3\sqrt{r_0}$  is equal to  $0.021\text{ cm}$  with decreasing radius  $r_0=0.001\text{ cm}$ ,  $L_e=0.022\text{ cm}$ , and  $0,3\sqrt{r_0}=0.0095\text{ cm}$ .

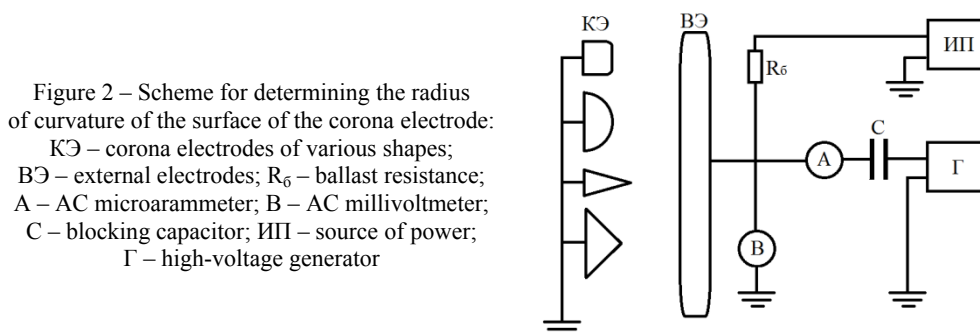
Table 2 shows the values of  $f_0$  obtained for various  $r_0$  and the calculated thickness values of the corona case  $L_e$  by the formulas (7) and  $0,3\sqrt{r_0}$ .

Table 2 – Calculated values  $L_e$  for various  $r_0$

$r_0, \text{ cm}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$15 \cdot 10^{-4}$	$30 \cdot 10^{-4}$	$50 \cdot 10^{-4}$
$f_0, \text{ Hz}$	$1450 \cdot 10^{-3}$	$1250 \cdot 10^{-3}$	$810 \cdot 10^{-3}$	$300 \cdot 10^{-3}$
$L_e, \text{ cm}$	$20.63 \cdot 10^{-3}$	$24.15 \cdot 10^{-3}$	$30.1 \cdot 10^{-3}$	$56.13 \cdot 10^{-3}$
$0,3\sqrt{r_0}, \text{ cm}$	$6.71 \cdot 10^{-3}$	$11.62 \cdot 10^{-3}$	$16.43 \cdot 10^{-3}$	$21.21 \cdot 10^{-3}$

The data obtained for  $L_e$  show that the resonance of the corona case plasma occurs at different frequencies, depending on the values of  $r_0$ , which determine, first of all, the thickness of the corona layer (case) of the corona discharge. As expected, the  $L_e$  value obtained by the developed method far exceeds the calculated data for the same range of radii  $r_0$  by the formula  $0,3\sqrt{r_0}$ . As mentioned above, this is due to the appearance of the buildup of electrons by a high-frequency field, which leads to an intensification of the ionization processes in the corona case.

When determining the radius of curvature of the surface of the corona electrode of arbitrary shape, a constant high and variable high-frequency voltage is applied to the second electrode in the form of a flat disk ( $D \sim 2$  cm), closely located (4-5 mm) to the corona electrode (Figure 2).



A variable sinusoidal voltage with an adjustable frequency from 200 Hz to 1.6 MHz is applied to the discharge gap from the ГС-100И generator and a high-voltage is supplied from the high-voltage source of the BC-23 type. The parameters of the high-frequency voltage are varied with a microammeter and an AC voltmeter. The amplitude of the alternating high-frequency voltage was chosen in the range from 2 to 100 V, depending on the steepness of the characteristic of the positive corona and the geometric dimensions of the discharge gap.

The corona discharge arises at the top of the surface and, with a further increase in voltage, propagates through the rest of the surface.

In order to determine the initial strength of the corona discharge, in the case of electrodes of arbitrary shape, a connection is normally used between the change in the strength of the electrostatic field in the immediate vicinity of the electrode surface and the radii of curvature of this surface

$$-\frac{dE}{E} = \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) dx \quad (8)$$

where  $R_1$  and  $R_2$  – the main radii of curvature of the surface at the given point, i.e. minimum and maximum radii of curvature;  $x$  is measured from the surface of the electrode in the direction of the normal. As a result of integration and substituting the obtained expression for the field strength in conditions of discharge independence and subsequent integration, we obtain an equation for determining the initial intensity  $E_0$ .

For determining the initial tension corresponding to the given point of the corona electrode of arbitrary shape, the equation for cylindrical wires can be used, if the equivalent wire radius is calculated by the formula

$$r_{0'rd} = \frac{R_1}{1 + \frac{R_1}{R_2}} \cdot \left( 1 + 0,2 \sqrt{\frac{R_1}{R_3}} \right) \quad (9)$$

The simplest way is to calculate it when the electrode is a rotation surface, for example, if the needle is approximated by a hyperboloid of rotation. In this case, the maximum radius of curvature ( $R_2$ ) is equal to the radius of curvature of the curve, with the rotation of which electrode is obtained, and the minimum ( $R_1$ ) is equal to the length of the normal to this curve from the axis of rotation to the point under consideration.

The radius of curvature of the top of the electrodes is precisely determined at the initial stage of the corona discharge. Indeed, for the top of the electrode of arbitrary shape we can admit  $R_1 \ll R_2$ , then with a certain error according to the formula (6.11), the resonant frequency  $f_0$  for the electrode of arbitrary shape is determined at the beginning, with the condition  $q_d = q_e$ , and then at this frequency the calibration curve is determined by the radius of curvature of the corona surface of the electrode of arbitrary shape.

The value of  $f_0$  ( $q_d = q_e$ ) for the given configuration of the electrodes and with the constancy of the corona discharge characteristics (constancy of the discharge current and atmospheric conditions) is as

follows: firstly we determine the dependence of the HF-conductivity of the discharge gap ( $q_e$  - capacitive) on the frequency of the alternating voltage in the absence of corona discharge. Then dependences of the HF-conductivity in the presence of the corona discharge ( $q_d$ ) are constructed and, by the coincidence  $q_d=q_e$ , the value of  $f_0$  is found, which serves for determining by the calibration curve, which corresponds to the radius of curvature of the surface of the electrode of arbitrary shape.

To construct the calibration curve (Figure 3) of dependence of the equivalent radius of micro wires from  $f_0$ , discharge chambers were used in the form of a cylinder with a diameter of 2 to 36 mm, and micro-fibers made of tungsten with a diameter of 5 to 50 microns ( $\mu\text{m}$ ) served as the central corona electrode.

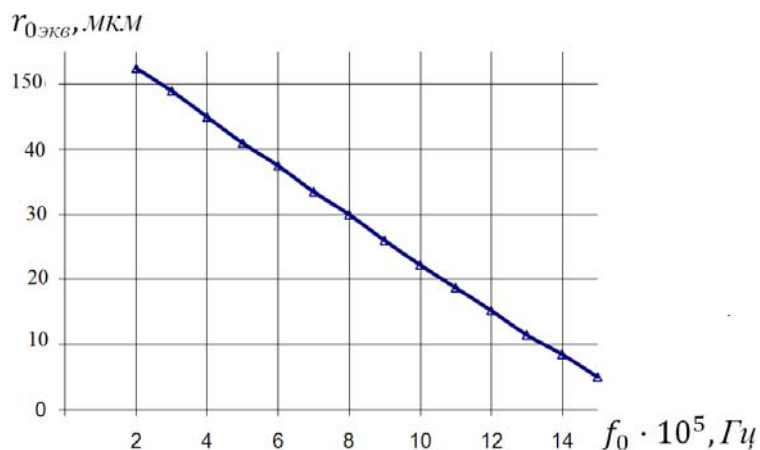


Figure 3 – Dependencies of the equivalent radius from  $f_0$

The experimental values of  $f_0$  were determined for the corona discharge in the cylindrical electrode system when  $R=0.2$  cm,  $U_0=10$  V,  $I=20$   $\mu\text{A}$ . It should be noted that in the case of determining the radius of curvature of the surface of stationary parts of high-frequency equipment, the load resistance of 1 kOhm was located in a high-voltage circuit.

**Methods and devices for measuring the diameter of microwires (MW).** Thin and ultra-thin wire (5-100 microns) of various metals and alloys are widely used in the vacuum and electronics industries. The homogeneity of the parameters and the reliability of the operation of electric and radio tubes depend to a large extent on the quality of the tungsten wire, electrical characteristics of which, with a constant composition of the metal, are determined mainly by the geometric dimensions of its cross section. Therefore, the development of new methods and devices for the precise control of the MW size in production is of great practical importance [1].

**Method for monitoring the MW diameter [5].** The main distinguishing feature of the new proposed method is that a negative corona pulse mode is used to control the MW diameter, which takes place when corona wire is cored to a diameter of up to 100 microns, whereby a stabilized negative-corona current is provided to increase the noise immunity of the measurements and the amplitude of the carrier pulses is measured.

The device implementing the proposed method comprises an annular electrode surrounding the controlled MW, a high voltage power supply source with an adjustable stabilized output current, a load resistor, a separation capacitor for removing impulse signals and a pulse voltmeter. When a sufficiently high voltage of positive polarity is applied to the annular electrode, conditions are created for the appearance of a pulsed regime of the negative corona, and ionization and excitation processes of atoms and molecules of the gas proceed in the vicinity of the corona laser, which in turn lead to the formation of numerous electron avalanches. It is established that for the pulsed regime of the negative corona, the amplitude of the pulses is directly proportional to the run length of the electron avalanches in the corona layer, the thickness of which is determined by the Peak formula and is equal to  $\Delta = 0,3\sqrt{r_0}$ , where  $r_0$  is the MW radius. Hence, by measuring the amplitude of the current pulses with the developed corona (10-50 $\mu\text{A}$ ), the radius ( $r_0$ ) of the corona MW is determined, at this, the amplitudes of such pulses that have the largest density (carrier frequency) in the frequency spectrum of the corona current pulses are measured. The

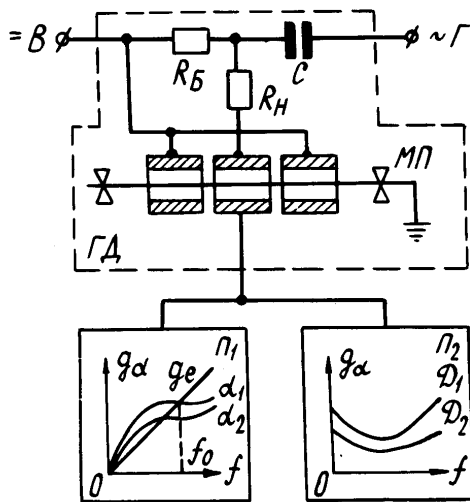


Figure 4 – CW based on the frequency dependence of the differential conductivity of the developed corona

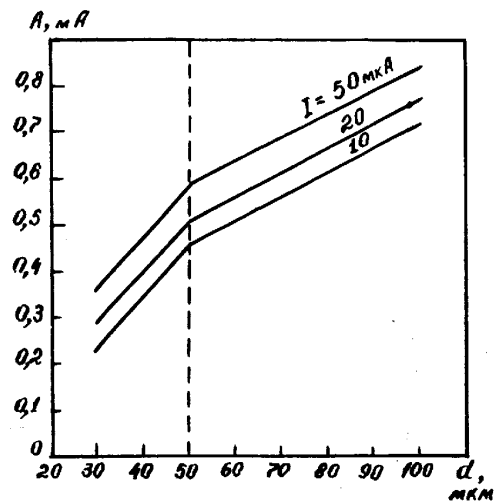


Figure 5 – Dependences of the amplitude of current pulses on the MW diameter

output signal is removed from the load resistor and fed through the separation capacitor to the input of the pulse voltmeter. During the measurement, the high voltage power supply operates in the stabilized current mode with its value set at the source output: 10, 20, 50μA.

Figure 5 shows the dependence of the amplitude of the carrier-frequency current pulses (A) on the diameter (d) of the corona MW for different values of the current of the negative corona. Herewith, the inner diameter of the outer annular electrode was 1 cm with a working length of 3 cm, the load resistance was 1.2 kOhm, the separation capacitance was 1 mkF. The pulse lengths varied depending on the MW diameter and lie in the range from 30 to 100 microseconds.

Experimental measurements have shown that a change in atmospheric air pressure within ± 20 kPa and wire vibration within ± 2.5 mm do not significantly affect the accuracy of measuring the MW diameter, which according to this method, as in all known CWs, amounts to approximately 0.5-1% of measured diameter. The existence of a fracture on calibration lines and its location is determined by the ratio  $\ln D/d$  (D is the diameter of the outer annular electrode), which is included in the formula of the current-voltage characteristic of the corona discharge. Therefore, if necessary, to change the measurement range and the shift of the fracture point on the calibration curves in one direction or another, the question is solved by selecting the value D.

**Device for measuring the diameter of micro wires.** The main drawback of the known device [5] is related to the complexity of performing the object measurement: to find the resonant frequency, first of all, the capacitive conductance of the discharge gap is measured, and then, in the presence of a corona discharge, the high-frequency conductivity of this gap, after this, when these conductivities are equaled along a graded curve of equivalent radii, the radius of curvature of the surface of the corona electrode is determined. As follows from here, the impact on the accuracy of measuring the state of the environment will be significant.

The objective of this device is simplification and automation of the measurement process to ensure continuous monitoring of the diameter of the moving micro wire during its manufacture.

The technical result is continuity of control at high accuracy of measuring the diameter of the micro wire, which is provided by eliminating the influence of the state of the environment on the corona discharge zone.

At this device, the determination of the radius of curvature of the corona surface is ensured by feeding an additional high-frequency DC voltage between the electrodes and adjusting its frequency, creating a resonant oscillation process in the corona discharge plasma, then, at equality of the values of the high-frequency conductances of the discharge gap with the corona discharge and without it, it is possible to determine the radius of curvature of the surface of the corona electrode along the gradient curve of the equivalent radii obtained in the values of resonant frequencies ( $f_0$ ).

In this case, two chambers in the form of cylinders of the same size are used, and if a high-frequency low-amplitude voltage is applied to both chambers, then a high voltage is applied only to one of the chambers at the same time. Thus, the values of high-frequency conductivities are measured simultaneously and the difference is immediately determined using a balance circuit.

In addition, in the device, the frequency control unit, under the influence of the resulting difference in high frequency conductivities, regulates the frequency of the generator and finds an automatically resonant frequency when this difference tends to zero.

Figure 6 shows the functional scheme of the device. The device contains two parallel chambers PK and CK, which consist of measuring 1 and security 2 electrodes, measured wire 3, dies or holders 4 of micro wires, separation capacitances  $C_1$ - $C_4$ , ballast  $R_1$  and load resistors  $R_2$ - $R_5$ , diodes  $D_1$ ,  $D_2$ , power supply unit (БП), generator ( $\Gamma$ ), frequency counter ( $\Psi$ ) and frequency control unit (БРЧ).

Thin and ultra-thin wires (5-100 microns) from various metals and alloys are widely used in the electrovacuum and electronics industries. The uniformity of the parameters and the reliability of the operation of electro-radio devices depend to a large extent on the quality of the tungsten wire, the electrical characteristics of which, with a constant composition of the metal, are determined mainly by the geometric dimensions of its cross section. Therefore, continuous measurement of the diameter of the micro wire in the process of its manufacture is of wide practical importance. Micro wires are produced in the process of their hot (tungsten, molybdenum) or cold (nichrome) drawing through diamond dies. Most wire diameter meters do not provide the necessary measurement accuracy due to the effect of possible wire misalignment from the main axis and the resulting vibration when it moves. In view of the fact that in the proposed device the occurrence of resonant frequencies is directly related to processes in the corona layer or in the corona case, the influence of these factors on the accuracy of the measurement is minimal. In addition, the use of two measuring chambers and a balanced measuring circuit further reduce the influence of these factors.

The high voltage of the set value and the negative polarity from the БП is fed through the ballast resistance  $R_1$  to the discharge chamber PK, where the corona discharge occurs, and simultaneously an alternating sinusoidal voltage with an adjustable frequency from 200 Hz to 1.6 MHz is fed to both chambers. Variable signals from the discharge and signal (CK) chambers pass through  $R_4C_3$  and  $R_5C_4$  - the chains are rectified by diodes  $D_1$ ,  $D_2$  and their difference is fed to the БРЧ. The frequency control unit of generator, depending on the polarity and the value of the potential difference on the capacitors  $C_5$ ,  $C_6$ , regulates the

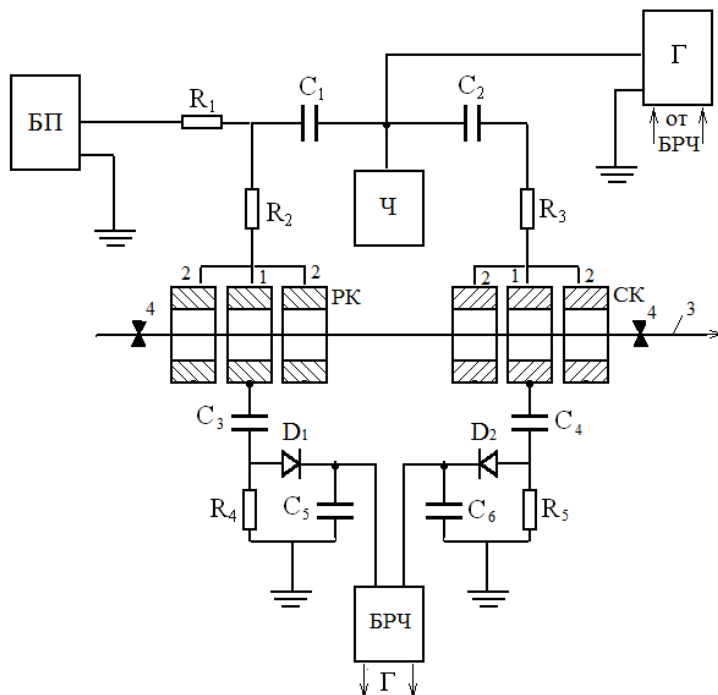


Figure 6 – Functional diagram of the device



frequency of the generator in one direction or the other. When the potential difference becomes zero, the БПЧ finishes the adjustment and at this point the oscillator frequency is fixed by the frequency meter, which is the resonant frequency ( $f_0$ ) of the discharge chamber.

The high-voltage is supplied from the BC-23 type high-frequency source, and the ГС -100И type generator is used as a high-frequency generator. Frequency meter ЧЗ-22 is taken to measure voltage. The amplitude of the alternating high-frequency voltage was chosen in the range from 2 to 100 V, depending on the steepness of the characteristic of the positive corona and the geometric dimensions of the discharge gap.

To construct the calibration curve (Figure 3) of dependence of the diameter  $d$  of the micro wires from  $f_0$ , discharge chambers in the form of cylinders with the diameter of 2 to 36 mm were used, and the central corona electrode was microfibers made of tungsten with the diameter of 5 to 50 microns ( $\mu\text{m}$ ).

The experimental values of  $f_0$  were determined for the corona discharge in the cylindrical electrode system when  $R=0.2$  cm,  $U_0=10$  V,  $I=20$   $\mu\text{A}$ . It should be noted that load resistances of 1 kOhm are located in the high voltage circuit.

#### REFERENCES

- [1] Bakhtaev Sh.A., Bokanova AA, Bochkareva GV, Sydykova G.K. Physics and technology of corona discharge devices. Almaty, AUCP, 2007, 278 p.
- [2] Bakhtaev Sh.A., Sydykova GK, Toigozhinova A.Zh., Kodzhabergenova A.K. Corona discharge on microelectrodes. Қызылдорда, Ақмешіт Баспа үйі, 2017, 212 p.
- [3] Predpatent of the Republic of Kazakhstan №14033. A method for determining the thickness of a crown discharge case // Bakhtaev Sh.A., Bokanova AA, Ermagambetov SB, Uteuov M.Kh., Eleukulov EO, Toigozhinova A.Zh., Bull.No.2 15.06.2004.
- [4] Innovative Patent of the Republic of Kazakhstan, No. 24408. Method for determining the radius of curvature of the corona electrode // Bakhtaev Sh.A., Bochkareva GV, Musapirova GD, Nusupbekov NA, Bull. №8, August 15, 2011.
- [5] Patent of the Republic of Kazakhstan # 5070. A method for controlling the diameter of a micro wire // Bakhtaev Sh.A., Bochkareva GV, Bokova GI. Bull. №10, 1998.
- [6] Innovative Patent of the Republic of Kazakhstan, No. 96543. A device for measuring the diameter of microwires // Bakhtaev Sh.A., Bochkareva GI, Musapirova GD, Avkhadiyeva FR, Abdreshova SB Bull. №2, 01/30/2017.
- [7] Ming-Wei Li; Zheng Hu; Xi-Zhang Wang; Qing Wu; Yi Chen. Synthesis of carbon nanowires using dc pulsed corona discharge plasma reaction // Journal of Materials Science, 2004, Vol. 39, Issue 1, p. 283–284.
- [8] Salvermoser, M.; Murnick, D.E. Efficient, stable, corona discharge 172 nm xenon excimer light source // Journal of Applied Physics, 2003, Vol. 94, Issue 6, p. 3722.
- [9] Wang, F., Liu, J.B., Sinibaldi, J., Brophy, C., Kuthi, A., Jiang, C., Ronney, P.D., Gundersen, M.A. Transient Plasma Ignition of Quiescent and Flowing Fuel Mixtures // IEEE Transactions on Plasma Science, 2005, Vol. 33, pp. 844–849.
- [10] Liu, J.B., Wang, F., Li, G., Kuthi, A., Gutmark, E.J., Ronney, P.D., Gundersen, M.A. Transient plasma ignition // IEEE Transactions on Plasma Science, 2005, Vol.33, p. 326-327.
- [11] Mainelis G., Welleke, K., Adhikari, A., Reponen, T., and Grinshpun, S.A. Design and Collection Efficiency of a New Electrostatic Precipitator for Bioaerosol Collection. Aerosol Science and Technology, 2002, 36, p. 1073-1085.
- [12] Ashmarin GV, Lelevkin VM, Tokarev AV Study the possibility of creating electrostatic discharge at small intervals. Report on the anniversary conference KRSU 2003.
- [13] Yamada, Kimio . An empirical formula for negative corona discharge current in point-grid electrode geometry // Journal of Applied Physics. 2004. Vol. 96. Issue 5. P. 2472-2475.
- [14] Pingao Shi, Dezhen Wang. Numerical simulation of pulsed corona discharge with dust particles at atmospheric pressure // Physics of Plasmas. 2005. Vol. 12. Issue 4.
- [15] Chen J. Direct current corona-enhanced chemical reaction // P.h.d. dissertation, University of Minnesota, 2002.
- [16] Yehia, A., Mizuno, A., and Takashima, K. On the Characteristics of the Corona Discharge in a Wire-Duct Reactor // J. Phys. D: Appl. Phys. 2000. Vol. 33. P. 2807-2814.
- [17] Ashmarin GV, Lelevkin VM, Niyazaliev IA, Tokarev AV, Yudanov VA value of the electric wind for heat exchange in technological devices based on corona discharge // Herald KRSU. 2006. Vol. 6, N 5. P. 147.

Ш. А. Бахтаев, Г. В. Бочкарева, Г. Д. Мусапирова

Алматы энергетика және байланыс университеті, Қазақстан

### ТӘЖДЕУШІ РАЗРЯДТАҒЫ МИКРОӨЛШЕМДЕРДІ ЖАНАСПАЙ ӨЛШЕУІШТЕР

**Аннотация.** Тәждеуші разрядтағы микроөлшемдерді жанаспай өлшеуіштер негізінде тәжделуші разряд қабы плазмасының жоғарғы жиілікті (ЖЖ) өткізгіштігін, тәжделуші электрод бетінің қисықтық радиусын анықтау әдісі, микросымның диаметрін өлшеу құрылғысы және тәсілдерін зерттеулер жатыр.

Зерттеулер разрядтық қашықтыққа бір уақытта үлкен тұрақты және аз жоғарғы жиілікті (ЖЖ) айнымалы кернеу бергенде, электродтар арасында қосымша амплитудасы жоғарғы вольтты тұрақты кернеу шамасынан аз мәнді жоғарғы вольтты кернеу беру арқылы іске асады, және оның жиілігін өзгерте отырып тәждік разрядтың плазма қабында резонанстық тербелмелі режим қалыптастырады.

**Түйін сөздер:** тәждік разряд, қисықтық радиусы, ЖЖ-өткізгіштік, микроэлектродтар, тәж қабы, электрондық құрамы.

Ш. А. Бахтаев, Г. В. Бочкарева, Г. Д. Мусапирова

Алматинский университет энергетики и связи, Казахстан

### БЕСКОНТАКТНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛИ МИКРОРАЗМЕРОВ НА КОРОННОМ РАЗРЯДЕ

**Аннотация.** В основу бесконтактных измерителей микроразмеров на коронном разряде положены результаты исследований высокочастотной (ВЧ) проводимости плазмы чехла коронного разряда, способ определения радиуса кривизны поверхности коронирующего электрода, способы и устройства для контроля и измерения диаметра микропроводок. Исследования проводились, когда на разрядный промежуток подаются одновременно большое постоянное напряжение и малое ВЧ переменное напряжение, которое осуществляется путем подачи между электродами дополнительного высоковольтного напряжения с амплитудой, меньшей величины высоковольтного постоянного напряжения, при этом в плазме чехла коронного разряда устанавливается режим резонансного колебательного процесса.

**Ключевые слова:** коронный разряд, радиус кривизны, ВЧ-проводимость, микроэлектроды, чехол короны, электронная составляющая.

#### Сведения об авторах:

Бахтаев Ш.А. – д.т.н., профессор кафедры ЭиР АУЭС,

Бочкарева Г.В. – к.т.н., доцент кафедры ЭиР АУЭС, bgw@mail.ru,

Мусапирова Г.Д. – к.т.н., доцент кафедры ММиПО АУЭС, mgulz1@yandex.ru

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 4, Number 424 (2017), 219 – 224

**E. Kozha<sup>1</sup>, D. U. Smagulov<sup>1</sup>, G. E. Akhmetova<sup>1</sup>, K. K. Kombayev<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Kazakh national research technical university named after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan,<sup>2</sup>D. Serikbayev East Kazakhstan state technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan.

E-mail: yerkin.kozha@mail.ru, smagulov061@mail.ru, agulzhajnat@bk.ru, kombayev82@mail.ru

**LABORATORY INSTALLATION  
FOR ELECTROLYTIC-PLASMA TREATMENT OF STEEL**

**Abstract.** A laboratory installation for electrolytic-plasma treatment (EPT) of metals and alloys has been created. A detailed description of the device and the operation of the installation are given. The laboratory tests of the installation were carried out, the optimum modes of EPT steel were determined. The disadvantage of traditional heat treatment – gas carburizing with subsequent hardening is the formation of hogging and internal cracks, as well as the high labor intensity and energy intensity of the carburizing process itself. In connection with this, it is urgent to search for alternative methods of chemical-thermal treatment. One of the promising methods is the electrolyte-plasma hardening of the surface layer of the parts. Hardening of the surface layer of the part is achieved as a result of cyclic, very rapid heating and cooling of the surface of the hardened sample in the plasma layer, which temperature is from 6000 to 30,000 K., created between the liquid electrode (electrolyte) and the cathode surface (sample). Rapid cooling (hardening) of the surface layer of the part takes place in the flow of electrolyte. In the process of thermal influence, the surface layers of the metal are saturated with carbon from the ions of the plasma of calcined soda, phase transformations of steel, which leads to local consolidation.

The high efficiency of the pilot plant is revealed - the energy costs and the duration of the chemical heat treatment are sharply reduced, as well as the ecological clean method of hardening.

**Key words:** steel, tool, phase, structure, properties, electricity, plasma, electrolytic-plasma treatment.

**Introduction.** The three-cone bit is an especially important drilling tool that destroys the rock by creating high contact stresses from axial force to the bit. For the manufacture of cutters it is used the cemented, low-alloy heat-resistant steel 18XH3MA-III, which contains: 0,16-0,18% C; 3.3% Ni; 0.9% Cr; 0.51% Mo; 0.44% Mn; 0.34% Si; 0.05% Al; and impurities, up to 0.008% S; 0.012% P; 0.015% N; 0.01% O; 0.01% H. All these alloying elements provide high strength steel. At this, nickel simultaneously with the increase in strength of steel contributes to the increase in its impact strength, and molybdenum - to increase its heat resistance [1]. According to the drilling specifications, the details of this steel at temperatures from -70 to +450 °C should produce at least 270 m of the well.

To ensure the required performance of the bit, taking into account the heavy shock loads and increased operating temperatures (up to 200 °C), under the conditions of production of Vostokmashzavod, JSC, they are subjected to chemical-thermal treatment: gas carburizing at the temperature of 960 °C followed by quenching at the temperature of 880 °C. The hardness of the surface layer of the parts reaches up to 58 ... 63 HRC. The hardness of the core is not more than 45 HRC. The disadvantage of such heat treatment is the formation of warpage and internal cracks, as well as the high labor intensity and energy intensity of the carburizing process itself.

Consequently, it is urgent to search for alternative methods of chemical-thermal treatment [2]. One of the promising methods is the electrolytic-plasma hardening of the surface layer of the parts. However, in Kazakhstan and in the near abroad, pilot-industrial or laboratory plants for electrolytic-plasma treatment are not produced.

**The aim of this work** was the design and manufacture of a laboratory installation for electrolytic-plasma treatment (EPT) of steel, the principal scheme of which is presented in Fig 1.

**The device and operating principle of the EPT installation.** The EPT installation (Figure 1) consists of a constant current source 1, a control panel 2, a clamping and mounting mechanism 3, a conical nozzle 4 with an inserted stainless steel anode, a working bath 5 made of dielectric plexiglass, 4 liters in volume [3]. A pump 6 with a regulated electrolyte supply operating in corrosive media was also used, and a dielectric tank 7, 5 liters in volume. The electrolyte from the tank 7 is fed by the pump 6 to the cone shaped nozzle 4 into which the anode of stainless steel 12X18H10T is inserted [4]. When the electrolyte is circulated, the bath is cooled to the required temperature ( $20 \pm 1$  °C). The used electrolyte from the working bath is fed back to the tank.

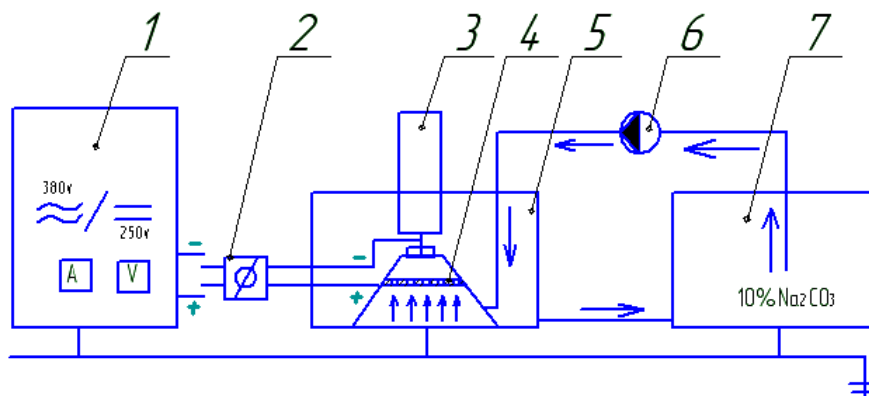


Figure 1 – Scheme of the electrolytic-plasma treatment installation: 1 – constant current source; 2 – control panel; 3 – clamping and mounting mechanism; 4 – Nozzle for electrolytic-plasma processing; 5 – working bath; 6 – pump; 7 – electrolyte tank

The test sample (part) serves as a cathode. It is installed on the mechanism of the clamp 3, which allows to regulate the required depth of immersion of the cathode in the electrolyte [5].

**Source of power.** The discharge is ignited by a direct current source 1-ИПН160 / 600-III, connected to an industrial network (380 V, 50 Hz), with output parameters: voltage  $U=250$  V, current  $I = 1$  kA. Semiconductor rectifier ИПН-160/600-III consists of a three-phase power transformer with smooth regulation of operating current (up to 600 A), rectifier block and ballasts [6]. The source provides a switch for obtaining an open circuit voltage: 80, 120, 160 V. The power supply of the plasma arc has a steeply falling external current-voltage characteristic [7]. The power source is controlled by the "Start" and "Stop" buttons on the front panel, as well as by the remote control panel 2. A fuse is used to protect the control circuits from short circuits [8]. Remote control panel allows to smoothly and accurately adjust the main energy parameters of the plasma jet (electrical parameters, flow of plasma-forming and transporting gases) [9].

Nozzle 4 (plasmatron) is a gas discharge device serving for electrolytic-plasma treatment. A nozzle (anodic) node is joined to the cathode node through an electrical insulating unit. The negative terminal of the DC source is connected to the sample (part) - the cathode, and the positive to the nozzle - to the anode [10]. Between the poles, an arc arises that maintains the level of ionization.

The nozzle is the most important element of the EPT installation, the design of which depends on the length of the arc, the stability of its combustion, and the speed and nature of the jet. The cone shape of the nozzle leads to the increase in the arc voltage and the significant increase in the current density in the arc column. The plasma jet is still compressed by a magnetic field created by the flux of charged particles in the plasma itself. Compression of the plasma jet leads to the increase in its temperature. The heated ionized gas stream is carried out at high speed from the nozzle as a bright, luminous plasma jet [11].

In the electrolytic-plasma treatment, depending on the conditions for the appearance of the electric arc and the parameters of the plasma layer, as well as on the composition of the electrolyte and the number of EPT cycles, the chemical and phase composition, the structure and properties of the surface layer of the metal are changed [12].

Hardening of the surface layer of the part is achieved as a result of cyclic, very rapid heating and cooling of the surface of the hardened sample in the plasma layer [13, 14], created between the liquid electrode (electrolyte) and the cathode surface (sample). Rapid cooling (hardening) of the surface layer of the part takes place in the flow of electrolyte.

When conducting electrolytic-plasma treatment of parts on the installation, strict compliance with safety requirements must be strictly observed: grounding, extraction, use of special clothing, protective glasses and dielectric gloves [15].

**Results of laboratory tests of the installation.** The general view of the EPT installation is shown in Figure 2. In laboratory tests, the electrolyte, a 10% aqueous solution of calcined soda,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , with known values of viscosity and resistivity, was chosen as the working medium. This electrolyte does not form toxic compounds during the electrolytic-plasma discharge. In the process of working with this electrolyte, technological solutions were found that ensure the absence of emissions into the atmosphere and high ecological parameters of the electrolytic-plasma treatment installation. In the future, a particularly important search direction should be the choice of electrolytes, which allow saturating the surface of products with special alloying elements [16].

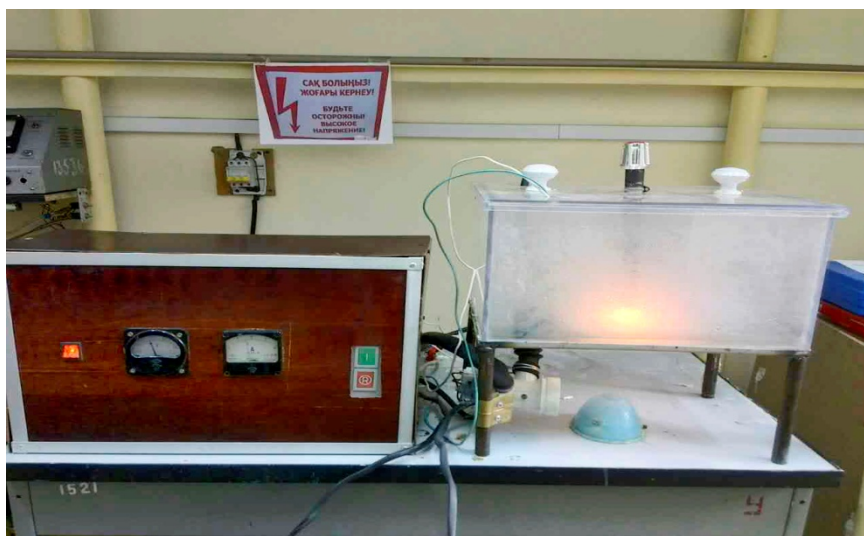
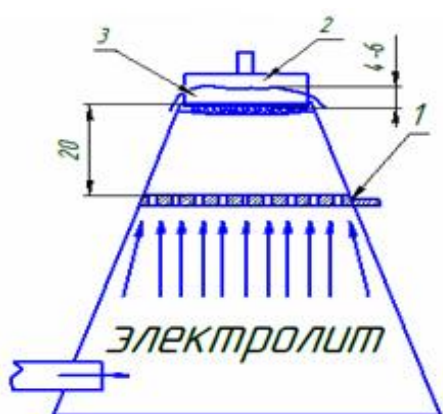


Figure 2 – General view of the laboratory EPT installation

The method of carrying out experimental studies [17] of the effect of the electrolytic-plasma treatment on the changes in the quality parameters of steel during its operation was as follows (Figure 3): cathode 2 - the sample is immersed in the electrolyte to a depth of 4-6 mm. Anode 1, which has the shape of a disk with a diameter of 50 mm and a thickness of 2 mm with drilled holes  $\text{Ø}4$  mm, is made of stainless steel [18]. Plasma 3 occurs between the cathode and the liquid electrolyte.



Nozzle circuit



Processing

Figure 3 – Electrolytic-plasma treatment of the sample

When the electric potential is turned on, a rapid warm-up occurs, and when it is turned off, the surface layer of the detail is cooled rapidly above the phase transformation temperature. Subsequent repetitions of the heating and cooling cycle make it possible to carry out a mode of thermo-cyclic surface treatment [19].

When a constant voltage is applied between two cathode electrodes (a hardened sample) and the anode (electrolyte), a layer of plasma generated by electric discharges arises [20]. As a result, an intense heating of the surface layer of the sample takes place. The current flowing through the plasma sheath can provide heating of the active electrode from 100 °C up to the melting point of its material [21]. After the power supply is turned off, the plasma is extinguished, which provides access to the heated product to the electrolyte and its rapid cooling (hardening) [22]. The rate of hardening also increases due to the heat removal in the massive substrate. To eliminate the melting of the surface, a pulsed heating mode has been developed. Since the duration of a pulse with a voltage is limited by time, surface overheating with EPT does not occur [23].

The tests of the installation made it possible to establish the optimal mode of the electrolytic-plasma treatment of tool steel: voltage  $U=200$  V, current  $I=10$  A, processing time 4s, hardening 4s, total time 2 min. It is also possible to carry out electroplating and plasma treatment of alloys based on non-ferrous metals [24].

**Conclusion.** A laboratory installation for the electrolytic-plasma treatment (EPT) of metals and alloys has been created. A detailed description of the device and operation of the installation is given [25]. The laboratory tests of the installation were carried out, the optimal modes of EPT steel were determined. The high efficiency of the pilot plant operation is shown - the energy costs and the duration of the chemical-thermal treatment are sharply reduced.

#### REFERENCES

- [1] Kombayev K.K., Smagulov D.U., Kylyshkanov M.K. Strukturno-fazovyye prevrashcheniya v stali 18KH3MA-SH pri elektrolitno-plazmennoy obrabotke // Vestnik. KazNTU im. K. I. Satpayeva. Almaty, **2010**. N 3(79). P. 199-206 (In Russian)
- [2] Marochnikstaley i splavov // V.G. Sorokin, A.V. Volosnikova, S.A. Vyatkin i dr. pod obshecheyredaktsiyey V.G. Sorokina. M.: Mashinostroyeniye **1989**. 640 p.
- [3] Kozha Ye., Kombayev K.K., Dostayeva A.M., Smagulov D.U. Mikrodogovoye oksidirovaniye alyuminiyevykh splavov // Vestnik. KazNTU im. K. I. Satpayeva, Almaty, **2014**. N 2(102). P. 346-351. ISSN 1680-9211 (In Russian)
- [4] Geller Yu.A., Rakhshat A.G. Material o vedeniye / Izdaniye 6-ye, pererabotannoye i dopolnennoye. M.: Metallurgiya, 1989. 456 p.
- [5] Kozha Ye., Kombayev K.K., Dostayeva A.M., Smagulov D.U. Elktrolitti-plazmalyk, ondeu kezindegi azkomirtektilegirlengenbolattağy kurylymдық, fazalyk, ozgeru // Vestnik. KazNTU im. K. I. Satpayeva, Almaty, **2014**. N 3(103). P. 300-307. ISSN 1680-9211 (In Kazakh)
- [6] Materialovedeniye i termicheskaya obrabotka metallov // Zhurnal. N 4. **1977**. A.P. Gulyayev, L.N. Serebrinnikov TSNIICHERMET im. I. P. Bardina Vliyaniye raznorazmernosti na mekhanicheskiye svoystva stali 18KH2N4MA. P. 3-5.
- [7] Kombayev K.K., Kylyshkanov M.K., Lopukhov Yu.I. Vliyaniye elektrolitno-plazmennoy obrabotkis tali 18KH3MA-SH na poverkhnostnyuyu mikrostrukturu i tverdost' // Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta, seriya «Tekhnika i tekhnologii», Krasnoyarsk, **2009**. N 2(4). P. 394-399 (In Russian)
- [8] Elektrolitno-plazmennaya obrabotka i naneseniye pokrytiy na metally i splavy. A.D. Pogrebnyak, Yu.N. Tyurin, M.K. Kylyshkanov. Obzor (In Russian)
- [9] Pogrebnyak A.D., Tyurin Yu.N., Boyko A.G. // Elektrolitno-plazmennaya obrabotka i naneseniye pokrytiy na metally i splavy // Uspekhi fiziki metallov, NANUkrainy, Kiyev, **2005**. Vol. 6. P. 273.
- [10] Pogrebnyak A.D., Kul'ment'yeva O.P. i dr. // Protsessy massoperenosa i legirovaniya pri elektrolitno-plazmennoy obrabotke chuguna // Pis'mav ZHTF. **2003**. Vol. 29, vyp. 8. Sumy, Ukraina, P. 2-6.
- [11] Zaklyucheniye o vydache innovatsionnogo patenta na izobreteniye «Sposob elektrolitno-plazmennogo uprochneniya detaley burovogo dolota» / Kylyshkanov M.K., Kombayev K.K., Pogrebnyak A.D. MPKS21D178 (2009.01), C21D 134 (2009.01). (In Russian)
- [12] Pogrebnyak A.D., Tyurin Yu.N., Kylyshkanov M.K., Pogrebnyak N.A., Ponaryadov V.V. Ruzimov Sh.M. VI-th International Conference «Ion Implantation and other applications of ions and electrons», Kazimiers Dolny, Poland, **2006**, p. 47.
- [13] Kombayev K.K., Kylyshkanov M.K. Vliyaniye rezhimov elektrolitno-plazmennoy zakalki na strukturu i svoystva stali burovogo dolota // Trudy Universiteta, N 2, KarGTU, Karaganda, **2009**. P. 16-18. (In Russian)

- [14] Korbayev K.K., Kurmangaliyev T.B. Patent №710 napoleznuyu model' «Stend dlya ispytaniya materialov na treniye i iznos» G01N 3/56 (2010.01)(In Russian)
- [15] Korbayev K.K., Kylyshkanov M.K., Skakov M.K. Issledovaniye vliyaniya elektrolitno-plazmennoy obrabotki na strukturu i iznosostoykost' stali burovogo instrumenta // Vestnik KazNTU. **2010**. N 1(77). P. 105-111. (In Russian)
- [16] Korbayev K.K., Kylyshkanov M.K., Lopukhov Yu.I. Issledovaniye svoystv modifikatsii poverkhnosti posle elektrolitno-plazmennoy obrabotki stali 18KH3MA-SH // Vestnik Natsional'noy inzhenernoy akademii Respubliki Kazakhstan. **2009**. N 2(32). P. 142-146. (In Russian)
- [17] Korbayev K.K. Razrabotka tekhnologii elektrolitno-plazmennoy obrabotki nizkouglerodistoy legirovannoy stali burovogo instrumenta: Monografiya. Almaty: Evero, **2015**. 92 p.: il. (In Russian)
- [18] Pogrebnyak A.D., Dyadyura K.A., Tyurin Yu.N., Kylyshkanov M.K. Kompresornoye i energeticheskoye mashinostroyeniye // Sumy: «Fizika, matematika, mekhanika». **2005**. N 4(6). P. 105-108.
- [19] Murovenko V.A. i dr. Burovyye mashiny i mekhanizmy. M.: Mashinostroyeniye, **2002**. Vol. 2. 256 p.
- [20] Baranova L.V., Demina E.L. Metallograficheskoye issledovaniye metallov i splavov: Spravochnik. M.: Metallurgiya, **1986**. 256 p.
- [21] Gorelik S.S., Rastorguyev L.N., Skakov Yu.A. Rentgenograficheskyy i elektronnoopticheskyy analiz. Prilozheniya. M.: Metallurgiya. **1970**. 109 p.
- [22] Pogrebnyak A.D., Kul'ment'yeva O.P. i dr. Protsessy massoperenosa i legirovaniya pri elektrolitno-plazmennoy obrabotke chuguna // Sumy: Pis'ma v ZHTF. 2003. Vol. 29, vyp. 8. P. 2-6.
- [23] Tyurin Yu.N., Gar'kavy N.I., Golovenko S.I. Uprochneniye sheyek krupnogabaritnykh kolenchatykh valov // Pervomaysk: Institut elektrosvarki NANUkrainy, AO «Pervomayskdizel'mash». 2001. N 3. P. 27-45.
- [24] Yasnogorodskiy Ya.Z. Avtomaticheskyy nagrev v elektrolite. M.: Oborongiz, **1947**. 24 p.
- [25] Gordiyenko P.S. Obrazovaniye pokrytiy na anodnopolyarizovannykh elektrodakh vvodnykh elektrolitakh pri potentsialakh iskreniya i proboya. -Vladivostok: Dal'nauka. **1996**. 215 p.

**Е. Қожа<sup>1</sup>, Д.У. Смағұлов<sup>1</sup>, Г.Е. Ахметова<sup>1</sup>, К.К. Қомбаев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Қ. И. Сәтбаев атындағы қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан,

<sup>2</sup>Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан мемлекеттік техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан

### **БОЛАТТЫ ЭЛЕКТРОЛИТТИ-ПЛАЗМАЛЫҚ ӨНДЕУГЕ АРНАЛҒАН ЛАБОРАТОРИЯЛЫҚ ҚОНДЫРҒЫ**

**Аннотация.** Металдар мен қорытпаларды электролитті-плазмалық өндеуге ЭПӨ арналған лабораториялық қондырғы жасалған. Қондырғы лабораториялық сынақтан өткізіліп, ЭПӨ тиімді режимдері анықталған. Өндірісте қолданылатын газды цементациялау және оның артынан шықтыру әдісінің негізгі кемшіліктері: бұйымның формасының өзгеруі, үлкен ішкі кернеулердің пайда болуы, сонымен бірге аса үлкен қиындығы және энергетикалық шығыны мол. Сондықтан химия-термиялық өндеудің жаңа әдістері табу аса актуалді болып табылады. Осындай болашағы зор әдістердің бірі – металдың беткі қабатын электролитті-плазмалық өндеу болып табылады. ЭПӨ кезінде бөлшектің беткі қабатының қаттылығы мен беріктігі температурасы 6000-30 000К ортада циклді түрде, өте тез қыздырудың және тез суытудың нәтижесінде артады.

Тәжірибелік қондырғының тиімділігі жоғары екендігі көрсетілген. Электроэнергияның шығыны химико-термиялық өндеу уақыты қысқарады.

**Түйін сөздер:** болат, құрал-сайман, фаза, құрылысы, қасиеттері, электр тоғы, плазма, электролитті-плазмалық өндеу.

**Е. Кожa<sup>1</sup>, Д. У. Смағұлов<sup>1</sup>, Г. Е. Ахметова<sup>1</sup>, К. К. Комбаев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. Сатпаева, Алматы, Казахста,

<sup>2</sup>Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
Усть-Каменогорск, Казахстан

### **ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ**

**Аннотация.** Создана лабораторная установка для электролитно-плазменной обработки (ЭПО) металлов и сплавов. Приведено подробное описание устройства и работы установки. Проведены лабораторные испы-

тания установки, определены оптимальные режимы ЭПО стали. Недостатком традиционной термической обработки – газовой цементации с последующей закалкой является образование коробления и внутренних трещин, а также высокая трудоемкость и энергоемкость самого процесса цементации. В связи с этим актуальным является поиск альтернативных методов химико-термической обработки. Одним из перспективных методов является электролитно-плазменное упрочнение поверхностного слоя деталей. Упрочнение поверхностного слоя детали достигается в результате циклического, очень быстрого нагрева и охлаждения поверхности упрочняемого образца в слое плазмы, температура которого составляет от 6000 до 30000 К., создаваемого между жидким электродом (электролитом) и поверхностью катода (образец). Быстрое охлаждение (закалка) поверхностного слоя детали происходит в потоке электролита. В процессе термического влияния происходит насыщение поверхностных слоев металла углеродом от ионов плазмы кальцинированной соды, фазовые превращения стали, что приводит к локальному упрочению.

Выявлены высокая эффективность работы опытной установки – резко сокращаются затраты электроэнергии и длительность химико-термической обработки, а также экологически чистый метод упрочнения.

**Ключевые слова:** сталь, инструмент, фаза, структура, свойства, электричество, плазма, электролитно-плазменная обработка.

**Сведения об авторах:**

Кожа Е. – докторант

Смагулов Д.У. – д.т.н., проф.

Ахметова Г.Е. – докторант

Комбаев К.К. – к.т.н.



## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 4, Number 424 (2017), 225 – 232

**E. G. Baikonurov<sup>1</sup>, G. A. Usoltseva<sup>1</sup>, O. V. Chernyshova<sup>2</sup>, D. V. Drobot<sup>2</sup>, R. S. Akpanbayev<sup>1</sup>**<sup>1</sup>NJSC Kazakh national research technical university after K. I. Satpaev, Almaty, Kazakhstan,<sup>2</sup>Moscow technological university, Russia.

E-mail: erden\_baikonurov@mail.ru, nota-vesna@yandex.kz, oxcher@mitht.ru, dvdrobot@mail.ru, rinat2401@mail.ru

**THERMODYNAMIC EVALUATION OF PROBABILITY  
OF DISSOLUTION OF SECONDARY HEAT-RESISTANT  
NICKEL-CONTAINING ALLOY GS32-VI  
BY MINERAL ACIDS SOLUTIONS**

**Abstract.** The thermodynamic probability of the transition of the components of the heat-resisting nickel-containing alloy GS32-VI to the aqueous phase under the influence of solutions of hydrochloric, sulfuric and nitric acids is considered in the article. Chemical composition of the alloy GS32-VI, wt. %: Ni - 60,05; Co - 9,3; W - 8,6; Al - 6,0; Cr - 5,0; Re - 4,0; Ta - 4,0; Y - 0,005; Nb - 1,6; Mo - 1,1; C - 0,16; B - 0,15; Ce - 0,025; La - 0,005. The main crystalline phases of the alloy are the compounds  $AlNi_3$ ,  $Cr_{0,4}Ni_{0,6}$ ,  $Co_{0,9}W_{0,1}$ ,  $Cr_4Ni_{15}W$ ,  $(Al_{0,7}Cr_{0,3})Ni_3$  and  $C_5Nb_6$ , that has been revealed by the means of X-ray phase analysis. The thermodynamic probability of dissolution of GS32-VI alloy components was estimated on values of isobaric and isothermal potential of probable reactions of interaction of the main components and phases with solutions of the specified mineral acids. On the basis of the thermodynamic analysis it is established that the possibility of transition to solution of some main components of alloy depending on type of mineral acid decreases in ranks:

– for nickel, cobalt, aluminum and rhenium:  $HNO_3 > H_2SO_4 > HCl$ ;– for chrome:  $H_2SO_4 > HCl > HNO_3$ .

It is shown that nickel, cobalt, aluminum, rhenium and chromium can have the greatest probability of transition into the aqueous phase in the acidic pH region. At the same time, niobium, tungsten, tantalum and molybdenum will most likely remain in the cake as insoluble compounds in aqueous solutions.

**Keywords:** dissolution, heat-resisting nickel-containing alloy, hydrochloric acid, sulfuric acid, nitric acid, thermodynamics, isobaric and isothermal coefficient, equilibrium constant.

**Introduction.** Heat resisting nickel-containing alloys are used in many branches of the national economy, their main part is applied in aircraft industry, elements of the equipment of combined heat and power plant and thermal power plant. Their basic purpose is working under loading at high temperatures. Now a significant amount of such fulfilled alloys has collected, and need for their processing has ripened. Especially as a significant amount not only non-ferrous metals, but rare and rare-earth elements which need to be returned in production is their part [1, 2].

Hydrometallurgical and electrochemical methods of processing of such alloys with usage of mineral acids solutions [3-5] are considered as perspective methods. These methods, especially electrochemical, allow not only to take and transfer valuable components to solution but to receive almost ready-made products in the form of powders of individual metals and their mixes that makes hydrometallurgical and electrochemical methods of processing of the fulfilled alloys even more attractive [6-8].

The relevance of hydrometallurgical and electrochemical processing of heat-resistant alloys is also contained in the fact that it is possible to separate the elements and obtain concentrates of rare and rare-earth metals that cannot be done by pyrometallurgical processing [9, 10].

To substantiate the probability of dissolution of the secondary heat-resistant nickel-containing alloy GS32-VI with solutions of mineral acids, a thermodynamic analysis of possible dissolution reactions of the components and compounds included in this alloy was considered.

**Methods of research and thermodynamic calculations.** The object of the research was the heat-resistant nickel-containing alloy GS32-VI the elemental analysis of which was carried out using an ICP mass spectrometer for isotope and elemental analysis of ELAN DRC-e (Perkin Elmer, Canada). The alloy had the following composition, wt. %: Ni - 60.05; Co - 9.3; W = 8.6; Al is 6.0; Cr is 5.0; Re - 4.0; Ta - 4.0; Y = 0.005; Nb = 1.6; Mo - 1,1; C = 0.16; B - 0,15; Ce - 0.025; La is 0.005. That is, the main components of the alloy GS32-VI are nickel, cobalt, tungsten, aluminum, chromium, rhenium, niobium and tantalum.

The phase analysis of alloy was made with use of the Shimadzu XDR 6000 diffractometer (radiation  $\text{CuK}\alpha$ , rotation of a sample, continuous (1 deg/min.), stepwise (a step 0,02 °, an exposure 10 s) the modes in the range of corners  $2\Theta$  10-90. The phase analysis has shown that the main crystal phases of nickel-containing GS32-VI alloy besides metals (nickel, cobalt, aluminum and chrome) are the compounds  $\text{AlNi}_3$ ,  $\text{Cr}_{0,4}\text{Ni}_{0,6}$ ,  $\text{Co}_{0,9}\text{W}_{0,1}$ ,  $\text{Cr}_4\text{Ni}_{15}\text{W}$ ,  $(\text{Al}_{0,7}\text{Cr}_{0,3})$  of  $\text{Ni}_3$  and  $\text{C}_5\text{Nb}_6$  (figure 1, table 1).

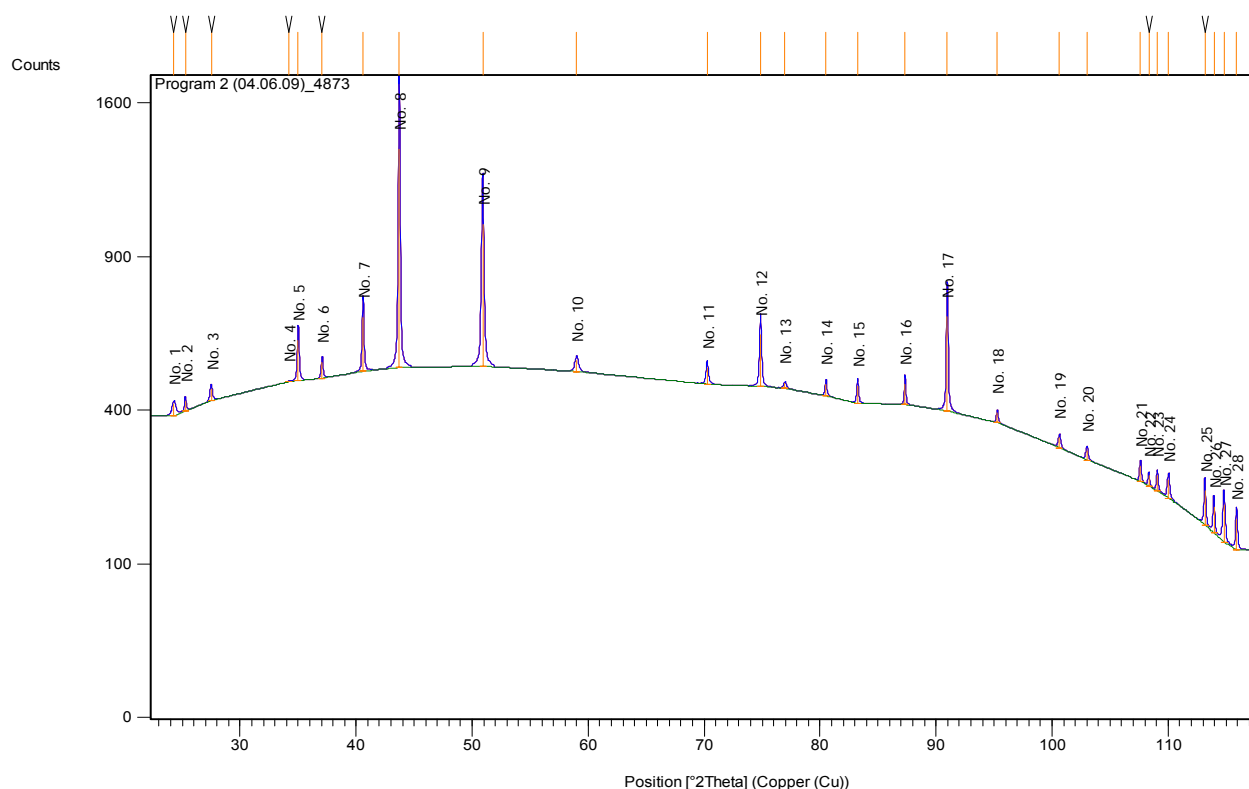


Figure 1 – X-ray diffraction pattern of the nickel-containing alloy GS32-VI

To substantiate the choice of reagents for chemical and electrochemical dissolution of the chosen heat resisting alloy it is necessary to make the thermodynamic analysis of process of conversion in solution of the color, rare and rare-earth elements which are a part of GS32-VI alloy.

Calculation of thermodynamic characteristics (isobaric and isothermal potential and equilibrium constant) of possible reactions of chemical dissolution of components of GS32-VI alloy in solutions of mineral acids was carried out by means of the program of thermodynamic calculations HSC Chemistry 5.11 of the Outokumpu Technology Engineering Research company.

Along with the calculations of Gibbs energy and the equilibrium constant, the possible state of nickel and cobalt, the main components of the alloy, on contact with mineral acids at a temperature of 25 ° C was analyzed, starting from the thermodynamic calculations of the Purbaix diagrams constructed using the same program.

**Thermodynamics of chemical dissolution of components of nickel-containing alloy GS32-VI in solutions of mineral acids.** Thermodynamic analysis of possible reactions of dissolution of the main components of the alloy GS32-VI in solutions of mineral acids is carried out for two temperatures of 20

Table 1 – Phase composition of the nickel-containing alloy ZhS32-VI using the Shimadzu XDR 6000 diffractometer database

Phase	Reference code of the card	Latin name of phase	Chemical formula	Correspondence to the peaks on the roentgenogram	Content, wt. %
1	03-065-1160	Niobium Carbide	C <sub>5</sub> Nb <sub>6</sub>	5, 7, 9-13,15-21, 23, 24, 26-28	7
2	03-065-9928	Cobalt Tungsten	Co <sub>0,9</sub> W <sub>0,1</sub>	9, 12, 17	17
3	01-072-2720	Aluminum Nickel	AlNi <sub>3</sub>	8, 9, 12, 17, 21	14
4	03-065-8387	Rhenium Tungsten	W <sub>13</sub> Re <sub>7</sub>	7, 10, 28	1
5	01-089-2120	Niobium Carbide	Nb <sub>4</sub> C <sub>3</sub>	5, 7, 10, 11, 13, 14	3
6	01-071-3771	Molybdenum	Mo	7, 16, 28	1
7	01-071-7326	Cobalt Molybdenum	(Co <sub>0,08</sub> Mo <sub>0,92</sub> )	7, 10	2
8	03-065-5108	Chromium Nickel Tungsten	Cr <sub>4</sub> Ni <sub>15</sub> W	8, 9, 12, 17	12
9	01-072-3080	Rhenium Tungsten	(Re <sub>0,35</sub> W <sub>0,65</sub> )	7, 10, 28	1
10	01-071-7596	Chromium Nickel	(Cr <sub>0,4</sub> Ni <sub>0,6</sub> )	8, 9, 12, 17	25
11	01-071-5711	Aluminum Chromium Nickel	(Al <sub>0,7</sub> Cr <sub>0,3</sub> )Ni <sub>3</sub>	8, 9, 14, 21	13
12	01-089-7251	Chromium Tantalum Carbide	Cr <sub>0,1</sub> Ta <sub>0,9</sub> C	5, 7, 10, 11	2

*Note.* The peaks of X-ray diffraction patterns No. 1-4, 6, 22, 25 were not identified.

Table 2 – Thermodynamic analysis of possible dissolution reactions of the main components of GS32-VI alloy with solutions of sulfuric acid

Reaction	$\Delta G^0$ , KJ / mol		lgK <sub>p</sub>	
	20°C	60°C	20°C	60°C
1 Ni + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> = NiSO <sub>4</sub> + H <sub>2</sub> ↑	-72,190	-73,927	12,864	11,592
2 Ni <sub>3</sub> Al + 4,5H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + 2,25O <sub>2</sub> ↑ = = 3NiSO <sub>4</sub> + 0,5Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> + 4,5H <sub>2</sub> O	-1402,929	-1409,306	249,834	220,836
3 Al + 1,5H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> = Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> + 1,5H <sub>2</sub> ↑	-514,646	-516,615	91,709	81,007
4 Co + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> = CoSO <sub>4</sub> + H <sub>2</sub> ↑	-92,183	-94,565	16,427	14,828
5 Co + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + 0,5O <sub>2</sub> = CoSO <sub>4</sub> + H <sub>2</sub> O	-275,207	-277,375	49,009	43,464
6 Co + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> = CoO↓ + H <sub>2</sub> O + SO <sub>2</sub> ↑	-5,480	-19,121	0,976	2,996
7 Cr + 1,5H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> = Cr <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> + 1,5H <sub>2</sub> ↑	-253,917	-256,485	45,248	40,218

and 60 °C. To perform a comparison of the energy indices of chemical reactions, calculations are made for 1 mole of the soluble component. The most technological acid is sulfuric acid, so the thermodynamic calculations of the dissolution of the alloy GS32-VI with the participation of sulfuric acid were performed in the first place. The results of thermodynamic calculations are presented in Table 2.

As follows from Table 2, the dissolution of the intermetallic compound Ni<sub>3</sub>Al is the most probable, and its dissolution will be more active in the presence of an oxidizer, which was conventionally taken as oxygen. It is also probable that reactions 3, 5 and 7 will occur. Less possibly – 1 and 4. Reaction 6 is the least probable at dissolution of nickel-containing GS32-VI alloy solutions of sulfuric acid. Based on the above analysis and the composition of the GS32-VI alloy, it can be concluded that all the components listed in Table 2 will pass into the solution upon contact with sulfuric acid.

There is information about the dissolution of nickel-containing alloys with solutions of hydrochloric and nitric acids [3-5]. Table 3 presents the thermodynamic analysis of possible dissolution reactions of the main components of the alloy GS32-VI in hydrochloric and nitric acids.

Thus, the greatest likelihood of dissolution in hydrochloric and nitric acids is observed for the intermetallic compound Ni<sub>3</sub>Al, which increases when the oxidant is added to the system. If we compare the effect of all acids, the thermodynamic probability of the reaction of dissolving Ni<sub>3</sub>Al in nitric acid is higher than in hydrochloric and sulfuric. At the same time, comparing the values of Gibbs energy for

Table 3 – Thermodynamic analysis of possible dissolution reactions of the main components of GS32-VI alloy with solutions of hydrochloric and nitric acids

Reaction		$\Delta G^0$ , KJ / mol		$\lg K_p$	
		20°C	60°C	20°C	60°C
Dissolution in hydrochloric acid					
1	$Ni + 2HCl = NiCl_2 + H_2\uparrow$	-45,825	-44,630	8,166	6,998
2	$Ni_3Al + 9HCl = 3NiCl_2 + AlCl_3 + 4,5H_2\uparrow$	-473,810	-481,330	84,432	72,652
3	$Ni_3Al + 9HCl + 2,25O_2 = 3NiCl_2 + AlCl_3 + 4,5H_2O$	-1143,67	-1131,83	203,665	177,357
4	$Co + 2HCl = CoCl_2 + H_2\uparrow$	61,773	62,310	-11,080	-9,770
5	$Co + 3HCl = CoCl_3 + 1,5H_2\uparrow$	132,930	138,655	-23,689	-21,742
6	$Al + 3HCl = AlCl_3 + 1,5H_2\uparrow$	-488,330	-481,280	73,520	75,466
7	$Cr + 2HCl = CrCl_2 + H_2\uparrow$	-164,900	-165,098	29,385	25,888
8	$Cr + 3HCl = CrCl_3 + 1,5H_2\uparrow$	-207,155	-201,039	36,915	31,535
9	$Cr + HCl + H_2O = 0,5H_2CrO_4 + 0,5CrCl_2 + 2H_2\uparrow$	64,137	59,332	-11,429	-9,304
Dissolution in nitric acid					
10	$Ni + 2,4HNO_3 = Ni(NO_3)_2 + 0,2N_2\uparrow + 1,2H_2O$	-313,954	-310,019	55,946	48,612
11	$Ni + 2,5HNO_3 = Ni(NO_3)_2 + 0,25N_2O\uparrow + 1,25H_2O$	-291,784	-288,026	51,995	45,163
12	$Ni + 2HNO_3 + 0,5O_2 = Ni(NO_3)_2 + H_2O$	-283,784	-276,118	50,750	43,296
13	$Ni_3Al + 9HNO_3 + 2,25O_2 = 3Ni(NO_3)_2 + Al(NO_3)_3 + H_2O$	-1544,620	-1550,026	275,250	235,993
14	$Co + 2,5HNO_3 = Co(NO_3)_2 + 0,25N_2O\uparrow + 1,25H_2O$	-293,851	-289,789	52,364	45,440
15	$Co + 2HNO_3 + 0,5O_2 = Co(NO_3)_2 + H_2O$	-176,300	-169,290	31,396	26,528
16	$Al + 3,6HNO_3 = Al(NO_3)_3 + 0,3N_2\uparrow + 1,8H_2O$	-958,387	-945,912	170,784	148,322
17	$Cr + 6HNO_3 = CrO_3\downarrow + 6NO_2\uparrow + 3H_2O$	-410,456	-440,432	73,143	69,061
18	$Cr + 4HNO_3 = CrO_2\downarrow + 4NO_2\uparrow + 2H_2O$	-468,826	-488,911	83,544	76,663

nickel and cobalt, it should be said that the probability of dissolution of these metals in nitric acid is much higher than in hydrochloric and sulfuric. The behavior of chromium in solutions of these acids is special. In nitric acid, in addition to soluble chromium (III) nitrate, which is formed in dilute nitric acid solutions [11], chromium (II) and (III) oxides are formed, which can inhibit the dissolution of the alloy. In hydrochloric and sulfuric acids, chromium forms soluble salts with acids, and the thermodynamic probability of chromium dissolution with the formation of chromium (II) sulfate in the solution of sulfuric acid is somewhat higher than the formation of chromium (II) chloride. Concentrated sulfuric and nitric acids passivate chromium [12].

In addition to the behavior of the main components of the GS32-VI alloy with dissolution by mineral acids, the possibility of transferring rare and rare-earth elements to the aqueous phase is considered: tungsten (8.6 wt.%), Rhenium (4.0 wt.%), Tantalum (4.0 wt%), niobium (1.6 wt%), molybdenum (1.1 wt%).

The results of the thermodynamic analysis of possible reactions of mineral acids with rare and rare-earth elements that are part of GS32-VI alloy are given in Table 4.

From the results of the thermodynamic analysis given in Table 4, it follows that rhenium (in solutions of sulfuric and nitric acids) and tungsten (in solutions of sulfuric and hydrochloric acids) can be detected in aqueous solution in dissolved form (in the form of mono- and dibasic acids). Some experimental data indicate that in hydrochloric and sulfuric acid solutions hexavalent molybdenum is in the form of polymerized cations [12]. Tantalum and niobium do not pass into an aqueous solution when dissolved with acids under any conditions [11]. Along with soluble compounds, mineral acids can form a number of insoluble compounds with rare and rare-earth elements, some of which are presented in Table 4.

If we analyze the Gibbs energy values for the dissolution processes in mineral acids of each component separately, we can easily find the following decrease in the thermodynamic probability of formation of water-soluble compounds in the series:

- for nickel, cobalt, aluminum and rhenium:  $HNO_3 > H_2SO_4 > HCl$ ;
- for chromium -  $H_2SO_4 > HCl > HNO_3$ .

Table 4 – Thermodynamic analysis of possible reactions of solutions of mineral acids with rare and rare-earth elements that make up the alloy GS32-VI

Reaction		$\Delta G^0, \Delta G^0, \text{KJ}$		$\lg K_p$	
		20°C	60°C	20°C	60°C
Sulfuric acid					
1	$\text{W} + \text{H}_2\text{SO}_4 + 1,5\text{O}_2 = \text{WO}_3\downarrow + \text{SO}_3\uparrow + \text{H}_2\text{O}$	-628,070	-630,530	111,848	98,803
2	$\text{W} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{H}_2\text{WO}_4 + \text{S}\downarrow$	-172,440	-173,420	30,708	27,175
3	$\text{Mo} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{MoO}_2\downarrow + 2\text{SO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$	-116,183	-142,278	20,704	22,310
4	$\text{Mo} + 3\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{MoO}_3\downarrow + 3\text{SO}_2\uparrow + 3\text{H}_2\text{O}$	-41,450	-81,510	7,382	12,773
Hydrochloric acid					
5	$\text{W} + 3\text{HCl} = \text{WCl}_3\downarrow + 1,5\text{H}_2\uparrow$	154,241	147,617	-27,486	-23,147
6	$\text{W} + 2\text{HCl} + 2\text{O}_2 = \text{H}_2\text{WO}_4 + \text{Cl}_2\uparrow$	-656,18	-644,48	116,851	100,989
7	$\text{Re} + 4/3\text{HCl} + 8/3\text{H}_2\text{O} = 2/3\text{HReO}_4 + 3\text{H}_2\uparrow + 1/3\text{ReCl}_4\downarrow$	289,205	277,206	-51,536	-65,200
8	$\text{Re} + \text{HCl} + 2\text{O}_2 = \text{HReO}_4 + 0,5\text{Cl}_2\uparrow$	-564,820	-557,280	100,583	87,325
9	$\text{Ta} + 3\text{HCl} = \text{TaCl}_3\downarrow + 1,5\text{H}_2\uparrow$	-92,688	-99,134	16,517	15,545
10	$\text{Ta} + 5\text{HCl} = \text{TaCl}_5\downarrow + 2,5\text{H}_2\uparrow$	-89,063	-99,479	15,871	15,599
11	$\text{Nb} + 3\text{HCl} = \text{NbCl}_3\downarrow + 1,5\text{H}_2\uparrow$	-120,466	-126,822	21,467	19,886
12	$\text{Nb} + 4\text{HCl} = \text{NbCl}_4\downarrow + 2\text{H}_2\uparrow$	-76,677	-88,152	14,198	13,822
13	$\text{NbC}_{0,83} + 4\text{HCl} + 1,83\text{O}_2 = \text{NbCl}_4\downarrow + 2\text{H}_2\text{O} + 0,83\text{CO}_2\uparrow$	-761,520	-757,470	135,612	118,694
14	$\text{Mo} + 2\text{HCl} = \text{MoCl}_2\downarrow + \text{H}_2\uparrow$	19,624	15,688	-3,497	-2,460
15	$\text{Mo} + \text{HCl} + \text{H}_2\text{O} = 0,5\text{MoCl}_2\downarrow + 0,5\text{MoO}_2\downarrow + 1,5\text{H}_2\uparrow$	-19,441	-24,140	3,465	3,785
Nitric acid					
16	$\text{W} + 4/3\text{HNO}_3 = \text{WO}_2\downarrow + 4/3\text{NO}\uparrow + 2/3\text{H}_2\text{O}$	-467,086	-472,561	83,234	74,099
17	$\text{Re} + \text{HNO}_3 + \text{O}_2 = \text{HReO}_4 + \text{NO}\uparrow$	-496,540	-497,550	88,424	77,965
18	$\text{Re} + 7/3\text{HNO}_3 = \text{HReO}_4 + 7/3\text{NO}\uparrow + 2/3\text{H}_2\text{O}$	-420,228	-431,785	74,884	67,705
19	$\text{Ta} + 5\text{HNO}_3 = 0,5\text{Ta}_2\text{O}_5\downarrow + 5\text{NO}_2\uparrow + 2,5\text{H}_2\text{O}$	-881,197	-906,025	157,028	142,068
20	$\text{Nb} + 5\text{HNO}_3 = 0,5\text{Nb}_2\text{O}_5\downarrow + 5\text{NO}_2\uparrow + 2,5\text{H}_2\text{O}$	-807,329	-832,272	143,865	130,503
21	$\text{NbC}_{0,83} + \text{HNO}_3 + 1,83\text{O}_2\uparrow = \text{HNbO}_3\downarrow + \text{NO}_2\uparrow + 0,83\text{CO}_2\uparrow$	-993,850	-988,660	176,983	154,921
22	$\text{NbC}_{0,75} + \text{HNO}_3 + 1,75\text{O}_2\uparrow = \text{HNbO}_3\downarrow + \text{NO}_2\uparrow + 0,75\text{CO}_2\uparrow$	-958,410	-953,030	170,674	149,339

**Analysis of the Purbaix diagrams constructed for the main components of the alloy GS32-VI.** In this paper, an analysis of the Purbaix diagram at 25 ° C is given only for nickel and cobalt, the content of which in the alloy is 60.05 and 9.3 wt. %, respectively (Figures 2 and 3). The diagrams of the state of nickel and cobalt in aqueous solutions in the presence of chlorine, sulfur and nitrogen in the system are constructed for clarity by imposing individual phase diagrams. Since the article considers the possibility of dissolution of a nickel-containing alloy by acid solutions, we were interested in the acidic pH range of the combined diagram.

On the combined diagram of the state of nickel (Figure 2), the same regions of existence for all types of acids are observed only for the following nickel forms:  $\text{NiO}^*\text{OH}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{NiH}_{0,68}$ .

In the presence of hydrochloric acid, along with the nickel  $\text{Ni}^{2+}$  ion in the acidic pH range, undissociated nickel chloride- $\text{NiCl}_2$  is stable. These water-soluble forms are stable up to  $\text{pH} = 5$ . In the presence of sulfuric acid there is a wide range of existence of the four-water nickel sulfate crystal hydrate, which extends up to  $\text{pH} = 9$ . The presence of nitric acid in the aqueous solution expands the region of existence of the  $\text{Ni}^{2+}$  nickel cation by the values of the oxidation potential. It should be noted that the water-soluble forms of nickel are stable only in the region of oxidation potentials and the pH of the aqueous phase is less than 5.

As can be seen from the combined diagram of the cobalt state (Figure 3), the same regions of existence for all types of acids are characteristic only of  $\text{Co}(\text{OH})_3$  and metallic Co. All other areas have features depending on the type of acid. In the solution of hydrochloric acid, the presence of the  $\text{CoCl}^+$  ion

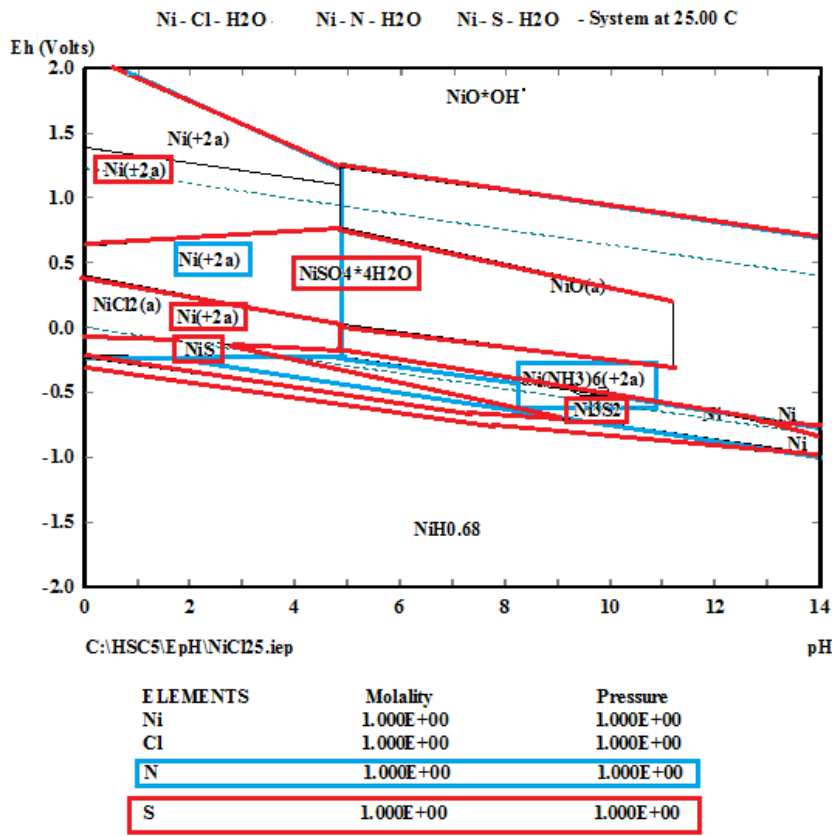


Figure 2 –  
Combined diagram  
of Ni-Cl-N-S-H<sub>2</sub>O nickel state  
in aqueous solutions

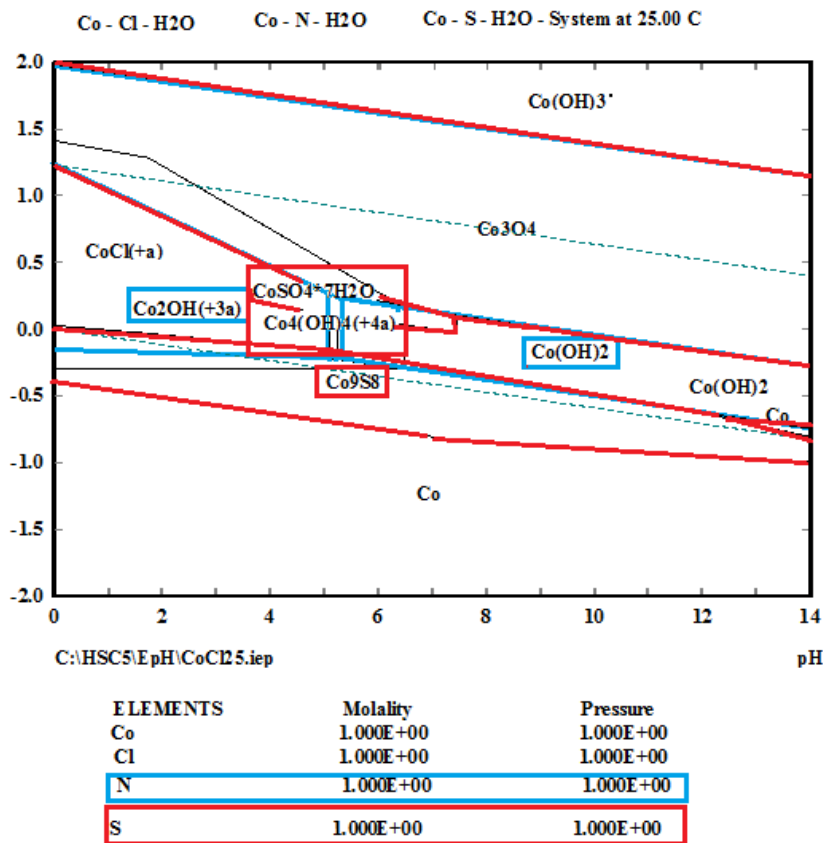


Figure 3 –  
Combined diagram  
of the Co-Cl-N-S-H<sub>2</sub>O cobalt state  
in aqueous solutions

should be predicted, whose existence range extends up to  $\text{pH} = 7$ . In the presence of nitric acid, up to  $\text{pH} = 5$ , the formation of a complex cobalt ion  $[\text{Co}_2\text{OH}]^{3+}$  is possible, which then passes into the  $[\text{Co}_4(\text{OH})_4]^{4+}$ . The presence of sulfuric acid in the aqueous solution, like that of nitric acid, leads to the formation of  $[\text{Co}_2\text{OH}]^{3+}$ , which then, depending on the potential in the system, can either go to the  $[\text{Co}_4(\text{OH})_4]^{4+}$  state, or to the seven-hydrate sulphatecobalt crystal hydrate. Thus, the presence of acids in the aqueous solution promotes the conversion of cobalt into water-soluble forms.

#### Conclusions:

- thermodynamic analysis of possible dissolution reactions of nickel-containing alloy GS32-VI with solutions of mineral acids showed that the following components will pass into the aqueous solution: nickel, cobalt, aluminum, chromium, rhenium and, possibly, tungsten;

- rare and rare-earth elements (except rhenium) basically either form insoluble compounds with acids, or remain unchanged;

- a decrease in the thermodynamic probability of formation of water-soluble compounds in the series was established: for nickel, cobalt, aluminum and rhenium:  $\text{HNO}_3 > \text{H}_2\text{SO}_4 > \text{HCl}$ ; for chromium -  $\text{H}_2\text{SO}_4 > \text{HCl} > \text{HNO}_3$ ;

- analysis of the state of nickel and cobalt in aqueous solutions showed that the main amount of water-soluble compounds of these metals is stable in the acidic pH range.

#### REFERENCES

[1] Heat-resisting and heat-resistant metal materials: Phys.-Chem. Principles of creation. Col. Art. Academy of Sciences of the USSR, Baykov A.A. Institute of Metallurgy. Ed. Bannykh O.A., Povarova K.B. M.: Nauka, 1987, 172 p. (in Russ.).

[2] Petrova A.M., Kasikov A.G. Sulfuric acid processing of scrap waste of heat-resistant alloys. Scientific and practical problems in the field of chemistry and chemical technologies: materials of a scientific conference, Apatity, April 8-10, 2009. Russian Acad. Sciences. Council of the Russian Academy of Sciences "Scientific foundations of chemical technology", Kola Scientific Center, Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Mineral Raw Materials. Murmansk State Technical University. Administration of the Murmansk region. Ed.: Nikolaev A.I., Nesterev D.P. Apatity: Publishing House of the Kola Science. Center of the Russian Academy of Sciences, 2009. 153 p. (in Russ.).

[3] Khudyakov I.F., Tikhonov A.I. Metallurgy of copper, nickel and cobalt. M.: Metallurgy, 1976, 230 p. (in Russ.).

[4] Istrashkina M.V., Peredeeva Z.A., Fomin S.S. Perspective technologies of rhenium extraction from waste nickel alloys. Giredmet has 70 years of service in the metallurgy of rare metals and semiconductors. M.: CINAО, 2001. 111-119. (in Russ.).

[5] Srivastava R., Kim M., Lee J. et al. *Journal of Materials Science*. 2014. 49. Iss. 14. 4671 (in Eng.).

[6] Palant A.A., Levchuk O.M., Bryukvin V.A. Complex electrochemical technology for processing waste of heat-resistant nickel alloys containing rhenium. Non-ferrous metallurgy. 2007. 11. 11-12. (in Russ.).

[7] Palant A.A., Bryukvin V.A., Levin A.M., Levchuk O.M. Complex electrochemical technology for the processing of waste products of high-temperature nickel alloys containing rhenium, tungsten, tantalum, niobium and other valuable metals. Metals. 2014. 1. 25-27. (in Russ.).

[8] Lutz L.J. Recycling of Contaminated Superalloy Scrap via Electrochemical Processing. TMS, 1993. (in Eng.).

[9] Baikunurov E.G., Chernyshova O.V., Ussoltseva G.A., Drobot D.V. Effect of the composition of the electrolyte on the characteristics of the cathode product obtained during processing of rhenium-containing heat-resistant alloy. Vestnik JezU. 2015. 2 (30). 362-366. (in Russ.).

[10] Pat. 2412267 (RF). A method for extracting rhenium from metal wastes of nickel-containing high-temperature alloys. Kasikov A.G., Petrova A.M., Bagrova E.G., Serba N.V., Kalinnikov V.T. Published on: 20.02.2011. Bul. № 5.

[11] Busev A.I. Analytical chemistry of molybdenum. M.: Academy of Sciences of the USSR, 1962. 305 p. (in Russ.).

[12] Krasitsky V. Interaction of nitric acid with metals. - Online: <http://studydoc.ru/doc/2195622/vzaimodejstvie-azotnoj-kisloty-s-metallami> (in Russ.).

**Е. Г. Байконуров<sup>1</sup>, Г. А. Усольцева<sup>1</sup>, О. В. Чернышова<sup>2</sup>, Д. В. Дробот<sup>2</sup>, Р. С. Акпанбаев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>НАО Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева,  
Алматы, Казахстан,

<sup>2</sup>Московский технологический университет, Россия

#### ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ РАСТВОРЕНИЯ ВТОРИЧНОГО ЖАРОПРОЧНОГО НИКЕЛЬСОДЕРЖАЩЕГО СПЛАВА ЖС32-ВИ РАСТВОРАМИ МИНЕРАЛЬНЫХ КИСЛОТ

**Аннотация.** Рассмотрена термодинамическая вероятность перехода компонентов жаропрочного никельсодержащего сплава ЖС32-ВИ в водную фазу при воздействии на сплав растворов соляной, серной и азотной кислот. Химический состав сплава ЖС32-ВИ, масс. %: Ni - 60,05; Co - 9,3; W - 8,6; Al - 6,0; Cr - 5,0; Re - 4,0; Ta - 4,0; Y - 0,005; Nb - 1,6; Mo - 1,1; C - 0,16; B - 0,15; Ce - 0,025; La - 0,005. Основными кристал-

лическими фазами сплава являются соединения  $\text{AlNi}_3$ ,  $\text{Cr}_{0,4}\text{Ni}_{0,6}$ ,  $\text{Co}_{0,9}\text{W}_{0,1}$ ,  $\text{Cr}_4\text{Ni}_{15}\text{W}$ ,  $(\text{Al}_{0,7}\text{Cr}_{0,3})\text{Ni}_3$  и  $\text{C}_5\text{Nb}_6$ , что было выявлено с помощью рентгенофазового анализа. Термодинамическая вероятность растворения компонентов сплава ЖС32-ВИ оценивалась по значениям изобарно-изотермического потенциала вероятных реакций взаимодействия основных компонентов и фаз с растворами указанных минеральных кислот. На основании термодинамического анализа установлено, что возможность перехода в раствор некоторых основных компонентов сплава в зависимости от типа минеральной кислоты уменьшается в рядах:

- для никеля, кобальта, алюминия и рения:  $\text{HNO}_3 > \text{H}_2\text{SO}_4 > \text{HCl}$ ;
- для хрома:  $\text{H}_2\text{SO}_4 > \text{HCl} > \text{HNO}_3$ .

Показано, что наибольшую вероятность перехода в водную фазу в кислой области pH могут иметь никель, кобальт, алюминий, рений и хром. В то же время ниобий, вольфрам, тантал и молибден, скорее всего, будут оставаться в кеке в виде нерастворимых в водных растворах соединений.

**Ключевые слова:** растворение, жаропрочный никельсодержащий сплав, соляная кислота, серная кислота, азотная кислота, термодинамика, изобарно-изотермический коэффициент, константа равновесия.

Е. Г. Байконуров<sup>1</sup>, Г. А. Усольцева<sup>1</sup>, О. В. Чернышова<sup>2</sup>, Д. В. Дробот<sup>2</sup>, Р. С. Акпанбаев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>К. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті КЕАҚ, Алматы, Қазақстан,  
<sup>2</sup>Мәскеу технологиялық университеті, Ресей

### МИНЕРАЛДЫ ҚЫШҚЫЛДАР ЕРІТІНДІЛЕРІМЕН ЖС32-ВИ НИКЕЛЬҚҰРАМДЫ ҚАЙТАЛАМА ҚЫЗУҒА БЕРІК ҚОРЫТПАСЫ ЕРУ ЫҚТИМАЛДЫЛЫҒЫНЫҢ ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ БАҒАСЫ

**Аннотация.** Мақалада ЖС32-ВИ никельқұрамды қызуға берік қорытпаға тұз, күкірт және азот қышқылдары ерітінділерінің әсері кезінде қорытпа компоненттерінің сулы фазаға өтуінің термодинамикалық мүмкіншілігі қарастырылған. ЖС32-ВИ қорытпасының химиялық құрамы, масс. %: Ni - 60,05; Co - 9,3; W - 8,6; Al - 6,0; Cr - 5,0; Re - 4,0; Ta - 4,0; Y - 0,005; Nb - 1,6; Mo - 1,1; C - 0,16; B - 0,15; Se - 0,025; La - 0,005. Қорытпаның негізгі кристалдық фазалары, рентгенофазалық талдау көмегімен анықталған  $\text{AlNi}_3$ ,  $\text{Cr}_{0,4}\text{Ni}_{0,6}$ ,  $\text{Co}_{0,9}\text{W}_{0,1}$ ,  $\text{Cr}_4\text{Ni}_{15}\text{W}$ ,  $(\text{Al}_{0,7}\text{Cr}_{0,3})\text{Ni}_3$  және  $\text{C}_5\text{Nb}_6$  қосылыстары болып табылады. ЖС32-ВИ қорытпа компоненттерінің еру термодинамикалық ықтималдылығы негізгі компоненттер мен фазалардың көрсетілген минералды қышқылдар ерітінділерімен ықтималды өзара әрекеттесу реакциялардың изобарлы-изотермиялық потенциалдар мәні бойынша бағаланған. Термодинамикалық талдау негізінде ерітіндіге қорытпаның кейбір негізгі компоненттерінің өту мүмкіншілігі минералды қышқыл түріне байланысты кемитіні анықталған:

- никель, кобальт, алюминий мен рений үшін:  $\text{HNO}_3 > \text{H}_2\text{SO}_4 > \text{HCl}$ ;
- хром үшін:  $\text{H}_2\text{SO}_4 > \text{HCl} > \text{HNO}_3$ .

pH қышқыл облысында никель, кобальт, алюминий, рений мен хром сулы фазаға өту ықтималдылығы жоғары екендігі көрсетілген. Сол мезетте ниобий, вольфрам, тантал және молибден кекте сулы ерітінділерде ерімейтін қосылыстар түрінде қалады.

**Түйін сөздер:** еру, никельқұрамды қызуға берік қорытпа, тұз қышқылы, күкірт қышқылы, азот қышқылы, термодинамика, изобарлы-изотермиялық коэффициент, тепе-теңдік константасы.

#### Сведения об авторах:

Байконуров Е.Г. – докторант PhD кафедры «Металлургические процессы, теплотехника и технология специальных материалов» Казахского национального исследовательского университета им. К. И. Сатпаева, erden\_baikonurov@mail.ru

Усольцева Г.А. – канд. техн. наук, ассистент профессора кафедры «Металлургические процессы, теплотехника и технология специальных материалов» Казахского национального исследовательского университета имени К. И. Сатпаева, nota-vesna@yandex.ru

Чернышова О.В. – канд. техн. наук, доцент кафедры «Химия и технология редких и рассеянных элементов, наноразмерных и композиционных материалов им. К. А. Большакова» Института тонких химических технологий Московского технологического университета, oxcher@mitht.ru

Дробот Д.В. – д-р хим. наук, проф. кафедры «Химия и технология редких и рассеянных элементов, наноразмерных и композиционных материалов им. К. А. Большакова» Института тонких химических технологий Московского технологического университета, dvdrobot@mail.ru

Акпанбаев Р.С. – д-р PhD, ассистент профессора кафедры «Металлургические процессы, теплотехника и технология специальных материалов» Казахского национального исследовательского университета им. К. И. Сатпаева, rinat2401@mail.ru



**NEWS**

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES**

ISSN 2224-5278

Volume 4, Number 424 (2017), 233 – 236

UDC 537.523.3:541.13

**A. A. Abdurrahmanov, S. A. Bahtaev, A. A. Bokanova, U. Mataev**

Almaty university of power engineering &amp; telecommunication, Kazakhstan.

E-mail: bokanova\_a@mail.ru

**DEVICE FOR PURIFICATION OF AIRS OF POULTRY PLANTS**

**Abstract.** Development of efficient, energy-saving technology and innovative technical facilities for the generation and processing (ozone) of premises for poultry, poultry meat and eggs and its introduction into poultry farms in order to increase their profitability and competitiveness. In this regard, we propose an innovative air purification device equipped with negatively charged electrete plates installed alternately and corona electrodes in the form of needles on a grid that are located along the direction of the flow of dusty gas.

**Keywords:** corona discharge, electrete plates, ozonizer, electrode, scale.

A significant proportion of all infectious diseases in poultry farming accounts for diseases of bacterial etiology, to which the youngsters are particularly sensitive. At the same time, bacterial diseases very rarely occur as a monoinfection, but are most often caused by associations of microorganisms. It should be noted that the role of (opportunistic) conventional pathogenous microorganisms in the etiology of bacterial diseases is gradually increasing [1-3].

From the reporting data of bacteriological studies in poultry farms, 60% of the total number of positive results are (colibacillosis) colibacterium, 13% - streptococcosis, 12.5% - salmonellosis, 6.2% - staphylococcosis, 6% - pseudomonas, 2% - pasteurellosis, Other (opportunistic) conventional pathogenous microorganisms - 0.5% [2-4].

The refore, antiepizootic measures in poultry farming are not only measures aimed at preventing the introduction and spread of pathogens, but also a control system implemented through the use of drugs that have therapeutic and prophylactic effects, disinfecting ability and a wide spectrum of antimicrobial activities. In addition, disinfection also carries a social burden, providing not only good production indicators of the enterprise, but also a high sanitary quality of the products. In connection with this, the safety requirements for the used disinfectants and their effectiveness, the direction of the action of the method of handling them, also. One of the methods of controlling the spread of infectious diseases is the processing of foodstuffs. As a rule, special chemical preparations are used for these purposes, including medicines and disinfectants, which lead to additional financial costs and losses. It is well known that diseases are easier to prevent than treat. In connection with this, in the world practice, preventive measures aimed at improving the sanitary condition and disinfecting the air of storage facilities, food products, etc., have become widespread. [4-5]. For these purposes, the physical-chemical method of prevention-treatment with ozone is the most suitable. Under the action of ozone, there is a guaranteed destruction of all known microorganisms-bacteria, viruses, fungi, etc. Ozone has a strong oxidizing ability, a powerful bactericidal action and the ability to effectively destroy various kinds of mold fungi and yeast, to destroy bacteria and viruses. Ozone has a pronounced intoxicidal effect. As a result of exposure to ozone, the metabolic products (toxins) and microorganisms are neutralized.

According to available data, when eggs are processed with ozone, the embryo develops more intensively, the growth and total metabolism enhance [1-3].

For example, processing of poultry meat with an ozone - air mixture during its air cooling allows to store chickens-broilers for a long time without deep freezing in the cooled state, as during the freezing the nutritional and taste qualities of meat decrease. Ozonization contributes to the improvement of the

biological value of poultry meat and cattle. Processing of meat with ozone provides high preservation of nutritional and taste qualities of the product, preserves its tenderness, juiciness and moisture capacity [4-6]. To solve the existing problem, several solutions were proposed. One of them is the development of a new device for air purification. The device would allow the creation of modular technological installations for the generation of ozone and for the processing of air in the premises of storage facilities for food products, using innovative technical means in them that will be used in the future.

In the development of processes and apparatuses of ozone technology for cleaning and disinfection of air in storage facilities and food products for long-term storage, as well as processing of meat and eggs, the general situation of objects will be analyzed, monitoring of similar methods will be carried out, a simulation model will be developed that allows to create an expert technological line on the basis of experimental one [7-9].

For creating the simulation model, physical and chemical methods of research were used, i.e. energy-saving technology and ozone output for air treatment of poultry premises largely depend on the energy parameters of the devices in the process line, one of which is an increase in the discharge current, a decrease in the dependence of the ozone output on the variations in atmospheric air, and so on. To determine the interaction of ozone with organic and inorganic compounds, chemical methods of investigation were used [8-10].

The developed discharge device is recommended for prevention and treatment of diseases of bacterial, viral and fungal etiology, as well as for aerosol disinfection of poultry housing in the presence of birds, it has a high efficiency of trapping fine-dispersed aerosol particles, and is characterized by simplicity of construction and simplification of collection of aerosol particles.

Previously, an apparatus was known for trapping fine particles in the air stream that contained a system of coaxially arranged corona and precipitation electrodes, with the same-charged electrodes provided with plugs connecting them [11-12]. Extension of the working zone of the electrostatic precipitator by means of "successive coupling of electric fields in the form of a labyrinth annular channel" led to a certain increase in the efficiency of trapping fine particles, but at the same time the hydrodynamic resistance of the entire system increased substantially, which required the presence of additional devices for increasing the pressure of the dusty air [7,11].

The air purification device was also proposed earlier, containing discharge chambers in the form of shaped cylinders with the mesh bottom and with the placement of corona electrodes made in the form of needles on grids that were arranged in series in a vertical direction and alternately were connected to different poles of the power source [12]. However, the drawback was the complexity of the design, which made it difficult for polluted air to pass.

The authors propose a new solution to this problem. The new discharge device for air purification is provided with negatively charged electrete plates installed alternately and corona electrodes in the form of needles on the grid that are located along the direction of the flow of dusty gas. In the device, the processes of charging aerosol particles are carried out in the zone of the positive corona, which allows to reduce by times the efficiency of ozone formation in the purified air in comparison with the negative corona. The device uses a (multi-electrode) micro-electrode system of corona needles, which dramatically increases the effect of electric wind, which is an obligatory attribute of the corona discharge. Electric wind creates a high-speed head of air flow (up to 5 m/s) in the working area and makes the device operate in the mode of ion-convection pump.

The processes of deposition and collection of aerosol particles occur in the zone of alternately arranged electrete plates at the outlet of the device. In view of the fact that electrete plates are negatively charged and the processes of deposition of positively charged aerosol particles on them proceed most efficiently.

Figure 1 shows the functional scheme of the proposed device in a section. It comprises a housing of a dielectric material of rectangular shape 1, corona needles 2, the outer electrode in the form of metal mesh 3 and the electrete plates 4 arranged alternately in the second part of the housing 1a. Coronating needles 2 in the number of 5 or 9 pieces are fixed symmetrically and coaxially to the housing 1, to the metal grid. In the operating mode, a high positive voltage is applied to the corona electrodes from the power supply (unit) block (БП) via the Пв switch of position I. In position II of switch П, the electrete plates are charged in the negative corona zone. For the convenience of cleaning the electrete plates from the aerosol particles

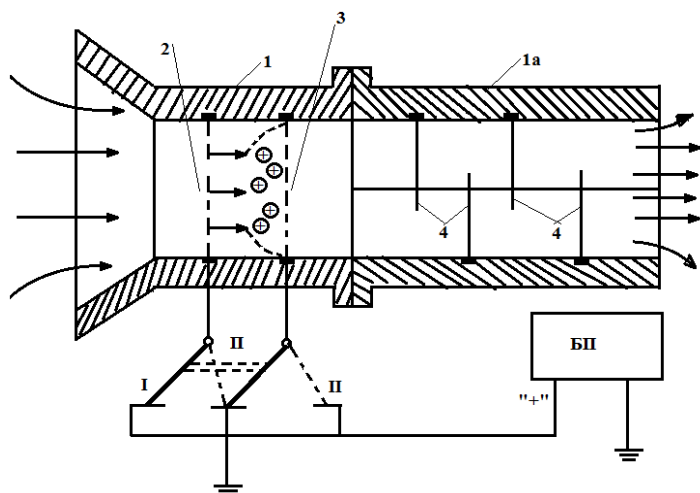


Figure 1 – Functional scheme of the device

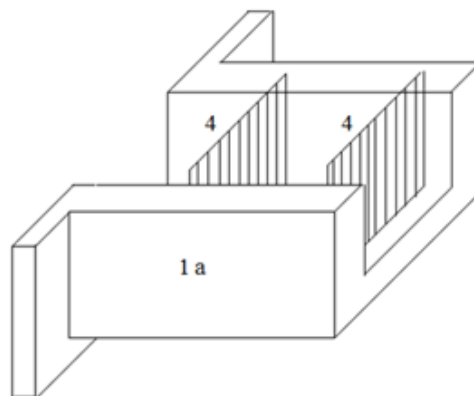


Figure 2 – Scheme of the location of electrete plates

collected on them, the second part of the housing 1a is made of two halves, identical in shape and size and only with the difference in the location of the electret plates on them (Figure 2).

Electrete plates are made of a dielectric, for example, PTFE (polytetrafluor(o)ineethylene), which for a long time (up to 10 days) retains the electrified state after the end of the external action that caused electrification. One of the methods of electrifying electretes is the impact on them by the corona discharge. In the proposed device, with the II position of the switch II, electrification conditions of the electrete plates of negative polarity are provided. This possibility allows the electrification process to be combined with the air purification process, moreover, neutralization of the charged electrete plates under the influence of positively charged aerosol particles proceeds intensively.

In the manufacture of the electrete plates, on the plates of dielectric with a thickness of 2 mm, an electrete film of PTFE with a thickness of 100 micrometers is glued, while the strength of the breakdown field  $E_{np}$  is up to  $2.2 \cdot 10^3$  kV/cm, and the surface density  $\sigma_s$  is 0.4 and 0.24 C/cm<sup>2</sup> [14].

After supplying a sufficiently high voltage to the electrodes in the form of needles 2, the corona discharge occurs between them and the wire electrode 3, simultaneously, the electric wind is generated in the direction of the corona needles 2, with a time (not more than 5 s) in the discharge zone, a stable electric wind appears and the device starts to work in the mode of ion-convection pump.

In this connection, the processes of sucking dusty air into the device and charging aerosol particles in the discharge zone begin. Then, the positively charged aerosol particles enter the next zone, where they are subjected to additional acceleration by the electric field created by the negatively charged electrete plates. Further passing through the labyrinth of the electrete plates, the aerosol particles settle on them and at the output we obtain pure air. In the case of heavily dusty air, the number of electrete plates can be increased, but the limiting value of the hydrodynamic resistance of the entire system must be taken into account.

The device was tested with the following parameters: the radius of the needles is 0.2 mm, the housing made of dielectric material of rectangular shape has internal dimensions of 15x20 mm<sup>2</sup>, the grid window is 2x2 mm<sup>2</sup>, the distance between the needles and the grid electrode is 8 mm, the supply voltage can vary from 6 to 14 kV, the working current of the corona discharge can be chosen in the range from 10 to 20  $\mu$ A, depending on the degree of dustiness of atmospheric air. The device consisting of a single corona needle and one electrete plate was tested in smokiness of atmosphere.

Control tests showed that the device is suitable for air purification from finely dispersed aerosol particles and can be used in production and service premises of poultry farming. With this simplified version of the device, after some time (no more than 5 s), the stable electric wind appears and the aerosol particles are drawn into the device. With increasing air contamination, approximately 2 times, the operating current is reduced by 6  $\mu$ A, which shows a significant dependence of the corona current on the degree of contamination of atmospheric air.

It is established that a decrease in the air pressure in the discharge gap leads to the increase in the ozone yield at low energy costs.

**Innovative and competitive advantage** is the possibility of obtaining the same amount of ozone in small-sized devices for processing food products, the advantage of which in comparison with foreign analogues is the small dimensions of the corona electrodes, the diameter of which does not exceed 100 microns, that allows to significantly reduce the capital costs of the installation for processing agricultural products, the cost of the production line will be lower by 5-10 times compared to analogues [11].

#### REFERENCES

- [1] Ospanov E.S., Kaygorodtsev. A.A. Food security of Kazakhstan: theory and practice. Messenger KACY, 2006. N 4. P. 11.
- [2] Zambecova Z.H. Food security of Kazakhstan: theoretical aspects andrioietyobespechenija: abstract of candidate of economic sciences. Karaganda, 2008. 21 p.
- [3] Tatimov M.B. That waits for Kazakhstan in the overpopulated XXI century. Metropolitan display. Almaty, 1999. N 1-2. P. 5-6.
- [4] Donchenko L.V., Nadukta V.D. Food Security Pishhepromizdat, 2001. 528 p.
- [5] Belenky N.G. Issue biological assessment of raw materials and food products. M., 1976. 86 p.
- [6] Belenky N.G. Biological value of products of animal origin as a basis for choosing rational technology for their production. //In the book Improving the quality of livestock products. M., 1978. P. 10-39.
- [7] Authorship certificate USSR №325996. Device for assessing // Bahtaev Sh.A. Publ. Bull. №3, 16.03.1972.
- [8] Reference book for electrical engineering in the 3 volume. L.: Energyatompublishing, 1988. Vol. 3. P. 591-605.
- [9] Sydykova G.K. Study and development of small-sized ozonizers and ozone control methods based on the Crown: Candidate of technical sciences: Avtoreferag. Almaty, 2001. 17 p.
- [10] Lunin V.V., Popovich M.P., Tkachenko S.N. Physical chemistry of ozone. M.: MGU, 1998. 480 p. 11. Bahtaev Sh.A.: Diss. dokt. of science. Almaty, 2004. 330 p.
- [11] Authorship certificate KR №20892. Device for assessing // BahtaevSh.A., Bokanova A.A., Mataev U.M., Abdurakhmanov A.A. Publ. Bull. №3, 16.03.2009.
- [12] Mataev U.M., Abdurakhmanov A.A. Establishment of mathematical model for the measurement of electrical characteristics of ozone generator // Proceedings of the international scientific and practical Conference "Standartization, Metrology and certification: integration into international space". Astana, 2011. P. 149-153.
- [13] RK innovative patent. Device for assessing for ai // BahtaevSh.A., Bokanova A.A., Mataev U.M., Abdurakhmanov A.A. Publ. Bull. №3, 16.03.2009.

**А. А. Абдурахманов, Ш. А. Бахтаев, Ә. Ә. Боканова, У. Матаев**

Алматы энергетика және байланыс университеті, Қазақстан

#### ҮЙДЕГІ АУАНЫҢ ҚҰС ФАБРИКАСЫ ҚҰРЫЛҒЫНЫ ТАЗАЛАУҒА АРНАЛҒАН

**Аннотация.** Өндіру және қайта өңдеу (озон) үшін тиімді, энергия үнемдейтін технологияларды және инновациялық техникалық құралдарды әзірлеу құс, құс еті мен жұмыртқа, және олардың табыстылығын және бәсекеге қабілеттілігін арттыру мақсатында құс фабрикаларын өз енгізумен үй-жайлар. Осы орайда, бұл теріс кезекпен қаланды электретный табақшаларды және бағыттаушы шанды газ ағынымен бірге ұйымдас-тырылған тор бойынша инелер түрінде разряд электродтары зарядталған жабдықталған ауаны тазарту үшін инновациялық құрылғыны ұсынды.

**Түйін сөздер:** тәжді разряд, электрет парақшалар, озонатор, электрод, тор.

**А. А. Абдурахманов, Ш. А. Бахтаев, А. А. Боканова, У. Матаев**

Алматинский университет энергетики и связи, Казахстан

#### УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ПОМЕЩЕНИЙ ПТИЦЕФАБРИК

**Аннотация.** Разработка эффективной, энергосберегающей технологии и инновационных технических средств для генерации и обработки (озоном) помещения с содержанием птиц, мяса птицы и яиц и внедрение его в птицефабриках с целью повышения их рентабельности и конкурентоспособности. В связи с этим предлагается инновационное устройство для очистки воздуха, снабженное отрицательно заряженными электретными пластинами, установленными поочередно и коронирующими электродами в виде игл на сетке, которые расположены по направляющей потока запылённого газа.

**Ключевые слова:** коронный разряд, электретные пластины, озонатор, электрод, сетка.

Абдурахманов Абдугани Абдужалилович – старший преподаватель

Бахтаев Шабден Абуович – д.т.н., профессор

Боканова Алия Абылгазиевна – д.т.н., профессор

Матаев Умербек Матаевич – к.т.н., доцент.

**NEWS**

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES**

ISSN 2224-5278

Volume 4, Number 424 (2017), 237 – 247

**T. E. Adil'bayeva, A. V. Talovskaya, Y. G. Yazikov**

Tomsk polytechnic university, Russia.

E-mail: mega.adilbaeva@mail.ru, talovskaj@yandex.ru, yazikoveg@tpu.ru

**ESTIMATION OF AEROTECHNICAL POLLUTION IN THE VICINITY  
OF THE THERMAL POWER PLANT (TPP-3) IN KARAGANDA  
ACCORDING TO SNOW SURVEY (REPUBLIC OF KAZAKHSTAN)**

**Abstract.** Emissions of heat power facilities affect the air quality and health of the population. The estimation of the volume of particulate matter emissions by these enterprises and the range of their transfer is of great importance. The article presents the results of an estimation of the level of air pollution in the zone of influence of the thermal power plant in Karaganda according to snow survey data.

Identified in the study area of man-made air pollution level based on the determination of average daily dust inflow complex with chemical elements of the atmosphere on the snow, as well as man-made structures identified in the solid precipitate snow.

It is determined that a very high level of pollution occurs at a distance of 0.5 km from the pipes of the thermal power plant. A tendency has been found to reduce the value of the dust load as far as the distance from the pipes of the thermal power plant is from 0.5 to 2.5 km, which may be related to the particle size and to the process of elution of smaller ash particles by ice dust formed when the water vapor in the smoke jet of the thermal power plant freezes. Data are obtained on the level of accumulation of heavy metals, rare, rare-earth and radioactive elements, as well as the associations of these elements in the solid phase of snow. The study of the real composition of solid suspended particles in air deposited in snow showed that they mainly contain unburnt coal particles, Al-Si microspherules, Fe microspherules and metal-containing particles.

**Key words:** Snow cover, atmospheric pollution, thermal power plant, microelements, technogenic formations.

УДК 502:624.131

**Т. Е. Адильбаева, А. В. Таловская, Е. Г. Язиков**

Томский политехнический университет, Россия

**ОЦЕНКА АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ  
В ОКРЕСТНОСТЯХ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ (ТЭЦ-3)  
Г. КАРАГАНДЫ ПО ДАННЫМ СНЕГОВОЙ СЪЕМКИ  
(РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН)**

**Аннотация.** Выбросы объектов теплоэнергетики влияют на качество воздуха и здоровье население. Оценка объемов выбросов твердых частиц этими предприятиями и дальности их переноса имеет важное значение. В статье представлены результаты оценки уровня загрязнения воздуха в зоне влияния теплоэлектростанции г. Караганды по данным снеговой съемки.

На изучаемой территории выявлен уровень техногенного загрязнения воздуха на основе определения среднесуточного притока пыли с комплексом химических элементов из атмосферы на снежный покров, а также выявленных техногенных образований в составе твердого осадка снега.

Определено, что очень высокий уровень загрязнения приходится на расстоянии 0,5 км от труб теплоэлектростанции. Выявлена тенденция уменьшения величины пылевой нагрузки по мере удаления от труб теплоэлектростанции от 0,5 до 2,5 км, что может быть связано с размером частиц и с процессами вымывания

более мелких частиц золы ледяной крупой, образующейся при замерзании водяного пара в дымовой струе теплоэлектростанции. Получены данные об уровне накопления тяжелых металлов, редких, редкоземельных и радиоактивных элементов, а также выделены ассоциации этих элементов в твердой фазе снега. Изучение вещественного состава твердых взвешенных частиц в воздухе, осаждаемые в снеге показало, что они в основном содержат частицы недожжённого угля, Al-Si-микросферулы, Fe-микросферулы и металлсодержащие частицы.

**Ключевые слова:** снеговой покров, загрязнение атмосферы, теплоэлектростанция, микроэлементы, техногенные образования.

**Введение.** Загрязнение атмосферы – самый острый вопрос современной экологической ситуации крупных регионов и городов. Обзор отечественной и иностранной литературы показал, что индикация уровня загрязнения окружающей среды выбросами топливно-энергетического комплекса является весьма актуальным. Известно, что ископаемые угли содержат в своем составе широкую ассоциацию химических элементов, которые вследствие относительно низких концентраций получили название «элементы-примеси». При высоких температурах сжигания углей в котлоагрегатах топливно-энергетических комплексов элементы-примеси в значительной степени выбрасываются в атмосферу в составе твердых частиц [32]. Во всех формах они способны оказывать неблагоприятные воздействия на живые организмы, том числе и человека [22]. Поэтому особое внимание уделено изучению влияния выбросов теплоэлектростанций на состояние атмосферного воздуха, как в нашей стране, так и за рубежом [1-13].

В настоящий момент существует проблема определения индикаторов для оценки вклада отдельно взятого источника среди множества в общий уровень загрязнения окружающей среды. В определенной мере эта проблема решается многими исследователями путем изучения химического состава выбросов предприятий и дальности их распространения на основе изучения снегового покрова [3-7]. Геохимическая информация снежного покрова позволяет получить динамику загрязнения за зимний сезон, а одна проба по всей высоте снежного покрова даёт представление о загрязнённости за весь период от установления снежного покрова до момента отбора пробы [8]. Техногенные аномалии в снеге проявляются более контрастно и характеризуют пространственную картину воздействия источников выбросов более четко, чем аномалии в других природных средах.

Снеговой покров – депонирующая среда для выявления техногенного загрязнения территорий, исследования которого в зоне влияния объектов ТЭК освещены во многих работах [1-3]. В снеговом покрове в зоне влияния топливно-энергетических комплексов изучение уровня накопления химических элементов зависит от состава используемого топлива. По анализу литературных данных, выделены возможные приоритетные элементы – загрязнители в зоне влияния топливно-энергетических комплексов в Казахстане [9,10], России [2-7] и за рубежом [1,11].

Город Караганда – самый большой город области по населению и четвертый по численности населения в Казахстане (после Алматы, Астаны и Шымкента). В северной части города расположен один из крупнейших энергопроизводящих предприятий Карагандинской области – теплоэлектростанция (ТЭЦ-3). В своем технологическом процессе ТЭЦ-3 использует экибастузский уголь, растопочное сырье – мазут. Экибастузский угольный бассейн расположен в Павлодарской области Республики Казахстан город Экибастуз. Недостаток этого угля заключается в том, что он высокозольный (более 40%), что снижает тепловой эффект сжигания угля, увеличивает стоимость его транспортировки, и содержит относительно высокое количество примесей.

Основные производственные показатели ТЭЦ-3: установленная электрическая мощность – 670 МВт, располагаемая электрическая мощность – 506 МВт, рабочая электрическая мощность – 493 МВт, выработка электроэнергии 3,43 млрд кВт·ч, установленная тепловая мощность – 1174 Гкал/ч. Выброс продуктов горения происходит через две дымовые трубы высотой от 100 до 168 м, что приводит к их рассеянию над значительной территорией города и его окрестностей. Количество котлов – 8 шт. [14].

С метеорологических позиций выбросы ТЭЦ-3 распространяются на жилой сектор и близко расположенные социальной инфраструктуры согласно преобладающему направлению ветра. Особенности циркуляции атмосферы обуславливают преобладание юго-западного ветра, его доля за многолетний период составляет 65%. Противоположные ветры фиксируются в 14% случаях, а частота других направлений ветров не превышает 7-8%.

Для получения новых данных качественной и количественной оценки уровня аэротехногенного загрязнения в окрестностях ТЭЦ-3 на основе изучения снегового покрова нами решались следующие задачи: 1) определение уровня пылевой нагрузки; 2) выявление экологически наиболее опасных элементов-загрязнителей (элементов-индикаторов), имеющих максимальные величины выпадения и накопления в твердой фазе снега; 3) определение опасных для здоровья металлосодержащих фаз и их морфологических характеристик.

**Методика исследования.** В январе 2014 г. проводился отбор проб снегового покрова в зоне влияния ТЭЦ-3 и в жилом районе в 2,5 км, расположенного в юго-западном направлении от ТЭЦ-3. Отбор проб проводили на расстоянии 0,5 км от труб ТЭЦ-3 в северо-восточном, восточном, юго-восточном, южном, западном и северном направлении, всего было отобрано 6 проб. В окрестностях ТЭЦ-3 в направлении основного ветрового переноса загрязнений (юго-западное), также было отобрано 7 проб: в северо-западном направлении на расстоянии 0,6; 1,5 и 2 км; юго-западном направлении – 0,6 км, северном направлении – 0,6; 1,5 и 2 км от труб. На территории жилого района, находящегося на расстоянии 2,5 км от ТЭЦ-3 на юго-западе было отобрано 6 проб, по регулярной сети с шагом 500 м. Таким образом, территория исследования была условно выделена на ближнюю зону воздействия ТЭЦ-3 (0,5-0,6 км) и дальнюю (1,5-2 км). Дополнительно пробы отбирали на расстоянии 10 км на юг от ТЭЦ-3 вблизи пос. Доскей (Победа), отобрано 4 пробы. Всего было отобрано 23 пробы. В качестве фоновых участков были выбраны 2 территории удаленные от города Караганды на расстоянии 55 км в северо-западном и 80 км в юго-восточном направлениях. В каждом фоновом участке было отобрано по 4 пробы.

Отбор и подготовку проб снега проводили в соответствии с нормативными документами [16-18] и на основе многолетнего опыта исследования снегового покрова [1-12, 14-18]. Пробы снега отбирали методом шурфа на всю глубину снегового покрова за исключением 5-ти см слоя над почвой. Вес каждой проб составлял 16-17 кг. Пробы помещали в полиэтиленовые пакеты и доставляли в лабораторию, где помещали в пластиковые контейнеры и растапливали при комнатной температуре. Затем часть отстоянной чистой снеговой воды (5–6 л) сливалась, тогда как оставшаяся часть воды была профильтрована через беззольные фильтры типа «синяя лента» для получения твердой фазы снегового покрова. Затем на фильтре твердая фаза была просушена при комнатной температуре, просеяна через сито с диаметром ячейки 1 мм и взвешена.

Пробы твердой фазы снега изучали в лабораториях Международного инновационного научно-образовательного центра «Урановая геология» при кафедре геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета. Содержание 28 химических элементов в пробах твердой фазы снега определяли инструментальным нейтронно-активационным анализом (ИНАА). Содержание ртути определялось методом беспламенной атомной абсорбции на приборе "РА-915+" с пиролитической приставкой "ПИРО-915" с использованием пакета программ RA915P (ПНД Ф 16.1:2.23-2000). Граница относительной погрешности аналитических методов составляла 20%.

Микроскопическое изучение проб проводили с помощью бинокулярного стереоскопического микроскопа (Leica ZN 4D) с видео-приставкой. Определение вещественного состава проб твердой фазы снега с последующим установлением процентного соотношения всех природных и техногенных составляющих производили согласно запатентованной разработки [19]. Выявление металлосодержащих фаз в пробах осуществляли на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) Hitachi S-3400N с ЭДС Bruker XFlash 4010.

Масса твердого осадка в снеговой пробе служила основой для определения пылевой нагрузки  $P_n$  в  $\text{мг}/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$ , т.е. количества твердых выпадений за единицу времени на единицу площади. Расчет пылевой нагрузки  $P_n$  проводился по формуле:  $P_n = P_o / S \cdot t$ , где:  $P_o$  – масса твердого осадка в пробе (мг);  $S$  – площадь шурфа ( $\text{м}^2$ );  $t$  – количество суток от начала снеговоспада до момента отбора проб. В практике используется следующая градация по среднесуточной пылевой нагрузке: менее 250 – низкая степень загрязнения; 251–450 – средняя; 451–850 – высокая; более 850 – очень высокая [16]. Величина среднесуточного выпадения каждого микроэлемента на поверхность снегового покрова ( $P_{\text{общ}}$ ,  $\text{мг}/\text{км}^2$  в сутки) рассчитывалась по формуле [16]:  $P_{\text{общ}} = C \cdot P_{\text{п}}$ , где  $C$  – концентрация элемента в пробе твердой фазы снегового покрова ( $\text{мг}/\text{кг}$ ), а  $P_{\text{п}}$  – величина пылевой нагрузки. Коэффициент кларка концентрации ( $K_c$ ) рассчитывали, как отношения содержания элемента в твердом осадке снега ( $C$ ) к кларку ноосферы ( $C_{\text{кл}}$ ) по формуле [20]:  $K_c = C / C_{\text{кл}}$ . После расчета

составлялся геохимический ассоциативный ряд элементов с наибольшими коэффициентами концентрации в порядке убывания, что характеризовало аномальность содержания химических элементов. Поскольку антропогенные аномалии чаще всего имеют полиэлементный состав, для них рассчитывается суммарный показатель загрязнения  $Z_{СПЗ}$ , характеризующие эффект воздействия группы элементов:  $Z_{СПЗ} = \sum K_c - (n - 1)$ , где  $n$  – число учитываемых элементов с  $K_c > 1$ .

**Результаты и их обсуждение.** На основе установленного характера распределения величины пылевой нагрузки на снежный покров по мере удаления от труб ТЭЦ-3 были выделены условно ближняя (до 0,5 км) и условно дальняя (1,5 – 2 км) зоны влияния теплоэлектростанции. Уровень пылевой нагрузки на снежный покров в условно ближней зоне влияния ТЭЦ-3 в 4,5 – 10 раз выше аналогичного показателя в условно дальней зоне. В сравнении с фоновыми значениями пылевой нагрузки для города Караганды (47 мг/м<sup>2</sup>·сут) в условно ближней зоне влияния ТЭЦ-3 наблюдается их превышение в 22 раза, а в условно дальней – от 1,8 – 7 раз. Тогда как в соответствии с нормативной градацией уровень запыленности снежного покрова во всех точках соответствует очень высокой степени загрязнения территории [16]. Наименьшее значение пылевой нагрузки было зафиксировано на расстоянии 10 км на юг от ТЭЦ-3, которое составляет 89 мг/(м<sup>2</sup>·сут) и соответствует низкой степени загрязнения атмосферы и неопасному уровню заболеваемости населения в соответствии с нормативной градацией [16]. При сравнении с фоновыми показателями наблюдается превышение в 2 раза.

Наибольшая величина пылевой нагрузки приходится на северо-восточную часть от ТЭЦ-3, что объясняется переносом загрязняющих веществ согласно главенствующему направлению ветра. В тоже время в юго-западном, северном и северо-восточном направлении отмечается снижение величины пылевой нагрузки в 7 раз по мере удаления от ТЭЦ-3 на расстоянии 1,5 - 2 км.

Наиболее высокие значения пылевой нагрузки в ближней зоне воздействия ТЭЦ-3 связаны с тем, что более крупные пылевые частицы осаждаются возле источника загрязнения, а более мелкие переносятся воздушными потоками на дальнейе расстояние [4, 21-23]. Кроме того, известен эффект вымывания ледяной крупой пылевых выбросов теплоэлектростанций, что обуславливает их осаждение вблизи источника [21]. Не исключается и ветровой перенос от открытых складов углей или во время разгрузки угля.

Результаты сравнения средней величины пылевой нагрузки на снеговой покров в окрестностях ТЭЦ-3 сопоставимы с данными других ТЭЦ (таблица 1).

Таблица 1 – Среднесуточная пылевая нагрузка ( $P_n$ , мг/м<sup>2</sup>·сут) на снежный покров в окрестностях ТЭЦ-3 г. Караганда и различных теплоэлектростанций

Table 1 – The average daily dust load ( $P_n$ , mg·(m<sup>2</sup>·day)<sup>-1</sup>) on the snow cover in the vicinity of TPP-3 of Karaganda and others thermal power plants

Параметры	Теплоэлектростанция				
	ТЭЦ-3 г. Караганда	ТЭЦ г. Павлодар [10]	ГРЭС-2 г. Томск [25]	ТЭЦ-2 г. Новосибирск [27]	ТЭЦ-5 г. Омск [26]
$P_n$	157-1446	338	73-8	118	132-267,3
Используемое сырье	уголь, мазут	уголь	уголь, газ	уголь, мазут	уголь, мазут, газ

В пробах было определено, что Sb ( $K_c=35...6,6$ ), а также Ba, Hg, Zn, Cr, Co, As ( $K_c=1...35$ ) составляют группу элементов с высоким накоплением элементов по средним значениям коэффициентов концентрации. Максимальные накопления Sb ( $K_c=35...25,04$ ) были определены в пробах, отобранных в ближней зоне воздействия ТЭЦ-3 в северо-восточном, северном, юго-восточном, южном направлениях от ТЭЦ-3, также выявлено повышенное накопление Ba ( $K_c=21...16,51$ ), Hg ( $K_c=26...12$ ), Zn ( $K_c=4,77...3,71$ ), Cr ( $K_c=6$ ), Co ( $K_c=4$ ), As ( $K_c=3,30$ ). В пробах, отобранных в жилой зоне г. Караганды на расстоянии 2,5 км на юг от ТЭЦ-3, было определено высокое накопление Ba ( $K_c=16,51$ ), Sb ( $K_c=13,81$ ), Hg ( $K_c=7$ ). В пос. Доскей (Победа) определено повышенное относительно кларка ноосферы содержания Ba ( $K_c=16,17$ ), Sb ( $K_c=6,61$ ), Hg ( $K_c=5$ ), As ( $K_c=3,08$ ) и Zn ( $K_c=3,71$ ).



Специфика твердой фазы снега, выявленная по данным геохимического ряда ассоциации элементов (таблица 2), отражает геохимическую специализацию используемых на ТЭЦ-3 углей Экибастузского бассейна и растопочного сырья – мазута [25]. Таким образом, полученные результаты позволяют сделать предположить поступлении данных химических элементов в атмосферный воздух, далее в снеговой покров в жилой зоне города и в окрестностях ТЭЦ-3 с выбросами от сжигания угля и мазута.

Таблица 2 – Геохимическая характеристика твердой фазы снегового покрова в окрестностях ТЭЦ-3, в жилом районе и в пос. Доскей (Победа)

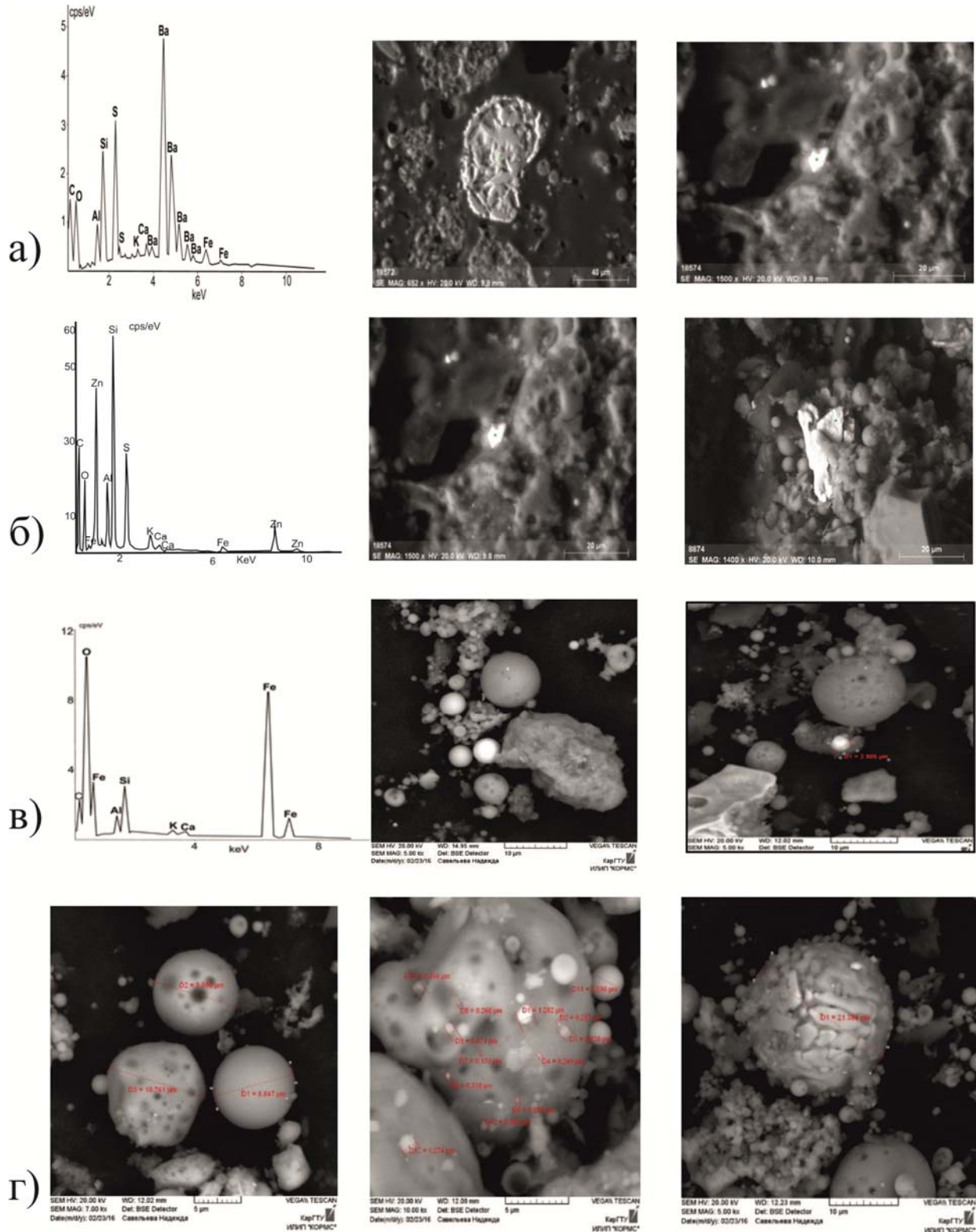
Table 2 – Geochemical characteristics of the solid phase of the snow cover in the vicinity of TPP-3, in the residential area and in the village. Doskey (Pobeda)

Направление	Средние значения коэффициента концентрации (Kc)			Z <sub>СПЗ</sub>
	более 10	10..3	3..1	
Северо-Восток	Sb <sub>35</sub> -Ba <sub>21</sub> - Hg <sub>26</sub> -Zn <sub>17</sub>	Cr <sub>6</sub> -Co <sub>4</sub> - As <sub>3,30</sub>	Sr <sub>1,07</sub> -Nd <sub>1,5</sub> -Lu <sub>1,17</sub> -Ca <sub>1,39</sub> -Ce <sub>1,53</sub> -La <sub>1,67</sub> -Fe <sub>1,68</sub> -Sc <sub>1,68</sub> - Tb <sub>1,77</sub> -Yb <sub>1,81</sub> -Hf <sub>1,89</sub> -U <sub>1,91</sub> -Eu <sub>2,13</sub>	111
Восток	Hg <sub>22</sub> - Ba <sub>17,25</sub>	Sb <sub>9,60</sub> -Zn <sub>4,77</sub>	Lu <sub>1,03</sub> -Sr <sub>1,08</sub> -Ca <sub>1,09</sub> -Fe <sub>1,18</sub> -U <sub>1,24</sub> -Sm <sub>1,22</sub> -Nd <sub>1,46</sub> - Tb <sub>1,57</sub> -Cr <sub>1,63</sub> - Tb <sub>1,74</sub> -Ce <sub>1,75</sub> -La <sub>1,97</sub> Sc <sub>2,06</sub> - Eu <sub>2,07</sub> - Hf <sub>2,02</sub> -As <sub>3,02</sub>	64
Юго-Восток	Sb <sub>22,44</sub> -Hg <sub>13</sub> -Ba <sub>14,72</sub>	–	Fe <sub>1,06</sub> -Ca <sub>1,11</sub> -Co <sub>1,12</sub> -Sm <sub>1,15</sub> -Nd <sub>1,30</sub> -Tb <sub>1,49</sub> -Yb <sub>1,49</sub> -Eu <sub>1,60</sub> - Ce <sub>1,63</sub> -Sc <sub>1,78</sub> -La <sub>1,92</sub> -Hf <sub>1,92</sub> -Zn <sub>2,32</sub> -As <sub>2,97</sub>	65
Юг	Sb <sub>20,96</sub> - Hg <sub>16</sub> - Ba <sub>15,56</sub>	–	Co <sub>1,00</sub> -U <sub>1,08</sub> -Tb <sub>1,24</sub> -Nd <sub>1,49</sub> -Yb <sub>1,54</sub> -Ce <sub>1,56</sub> -Sc <sub>1,78</sub> - La <sub>1,85</sub> -Hf <sub>1,94</sub> -Sn <sub>2,17</sub> -As <sub>2,60</sub>	62
Юго-Запад	Sb <sub>17,65</sub> -Hg <sub>16</sub> - Ba <sub>13,45</sub>	–	Nd <sub>1,04</sub> -Sm <sub>1,05</sub> -Tb <sub>1,20</sub> -Yb <sub>1,43</sub> -Ce <sub>1,50</sub> -La <sub>1,68</sub> - Hf <sub>1,80</sub> -Zn <sub>2,04</sub> -As <sub>2,96</sub>	57
Север	Sb <sub>25,04</sub> -Ba <sub>16,51</sub> - Hg <sub>12</sub>	–	U <sub>1,04</sub> -Sm <sub>1,04</sub> -Sr <sub>1,10</sub> -Tb <sub>1,18</sub> -Nd <sub>1,29</sub> -Ca <sub>1,38</sub> -Ce <sub>1,39</sub> - Fe <sub>1,44</sub> -Yb <sub>1,47</sub> -La <sub>1,60</sub> -Sc <sub>1,82</sub> -Eu <sub>1,89</sub> -Co <sub>2,15</sub> -Cr <sub>2,17</sub> -As <sub>3,11</sub>	79
Жилая зона г. Караганды, 2,5 км на юг	Ba <sub>16,17</sub> -Sb <sub>13,82</sub>	Hg <sub>7</sub>	Zn <sub>7,00</sub> -As <sub>2,46</sub> -Co <sub>2,03</sub> -Sc <sub>1,99</sub> -Cr <sub>1,94</sub> -La <sub>1,72</sub> -Eu <sub>1,90</sub> -Hf <sub>1,70</sub> - Ca <sub>1,65</sub> -Ce <sub>1,46</sub> -Fe <sub>1,46</sub> -Yb <sub>1,43</sub> -Nd <sub>1,26</sub> -Sr <sub>1,09</sub> -Tb <sub>1,04</sub> -Sm <sub>1,02</sub>	72
Пос. Доскей (Победа), 10 км на юг	Ba <sub>19,31</sub>	Hg <sub>5</sub> -Sb <sub>6,61</sub> - Zn <sub>3,71</sub> -As <sub>3,08</sub>	La <sub>2,50</sub> -Eu <sub>2,41</sub> -Ce <sub>2,15</sub> -Co <sub>2,19</sub> -Hf <sub>1,94</sub> -Nd <sub>1,84</sub> -Sc <sub>1,81</sub> -Tb <sub>1,81</sub> - Yb <sub>1,80</sub> -Cr <sub>1,67</sub> -U <sub>1,60</sub> -Sm <sub>1,47</sub> -Fe <sub>1,46</sub> -Sr <sub>1,04</sub> -Lu <sub>1,00</sub>	68

Выше перечисленные химические элементы типичны для компонентов природной среды в окрестностях угольных теплоэлектростанций. Результаты исследования твердой фазы снегового покрова хорошо согласуются с данными по изучению элементного состава снегового покрова в окрестностях теплоэлектростанции г. Томска [4,25], Омска [26], Новосибирска [27], Кызыла [21] и Благовещенска [28]. В данных работах также было определено высокое содержание U, редкоземельных элементов, Cu, Cd, Zn в снеговом покрове из окрестностей теплоэнергетических объектов.

Суммарный показатель загрязнения (СПЗ) составляет в среднем 72, что соответствует среднему уровню загрязнения и умеренно опасной для здоровья человека экологической ситуации [29-31] ( $Z_c=64...128$ ). Расчеты суммарного показателя загрязнения (СПЗ) показывают, что низкая степень загрязнения в соответствии с нормативной градацией [16], приходится на юго-западное и восточное направления, СПЗ от 57 до 62 соответственно. Остальные изученные направления северо-восточное (СПЗ=111), юго-восточное (СПЗ=65), южное (СПЗ=64), северное (СПЗ=79), жилая зона (СПЗ=72), пос. Доскей (Победа) (СПЗ=68) по величине СПЗ характеризуются средней степенью загрязнения атмосферы.

Максимальные значения среднесуточного притока химических элементов из атмосферы на снеговой покров наблюдаются в ближней зоне воздействия ТЭЦ-3 по всем направлениям. Повышенные значения данных величин также зафиксировано в северо-восточном направлении, согласно преобладающему направлению ветра. Это связано с высокими значениями величины пылевой нагрузки в этих точках отбора проб и повышенным содержанием элементов в данных пробах относительно содержания в других отобранных пробах. В тоже время в дальней зоне воздействия ТЭЦ-3 в юго-западном, юго-восточном и южном направлении отмечается снижение величины среднесуточного притока химических элементов по мере удаления от ТЭЦ-3. Наименьшее значение данных величин отмечено в жилой зоне г. Караганды, на расстоянии 2,5 км на юг, и в пос. Доскей, на расстоянии 10 км на юг от ТЭЦ-3.



Некоторые металлосодержащие и алюмосиликатные частицы в пробах твердой фазы снежного покрова в окрестностях ТЭЦ-3 по данным СЭМ (а – сульфат Ba, б – сульфид Zn; сферические техногенные образования: в – пористые и гладкие Fe-содержащие сферулы, г – Al-Si пористые сферулы)

The material composition of the insoluble phase of the snow cover in the vicinity of TPP-3 studied with the help of SEM (a – barite, б – sphalerite, spherical technogenic formations: в – porous and smooth Fe spherules, г – Al-Si porous, inhomogeneous spherules)

По результатам корреляционного анализа в пробах были выявлены коэффициенты корреляции ( $r$ ) между некоторыми парами элементов ( $r >$  от 0,82 до 0,95.), что свидетельствует о сильной взаимосвязи этих элементов и свидетельствует об едином источнике поступления элементов. Например, элементы Fe и Cr образует сильные связи с Na (0,88), Co (0,95), Sn (0,95) и с La (0,88). Следует отметить, что сильные связи также наблюдаются Nd с La (0,82), Th с Yb (0,87), Th с Ce (0,86), Hg с Lu (0,86), Ce с La (0,88). Обращает на себя внимание сильная отрицательная связь между Vg и Na, что может свидетельствовать о разных источниках их поступления.

Изучение проб, отобранных в окрестностях ТЭЦ-3, с помощью СЭМ позволило выявить в них некоторые формы нахождения химических элементов в нерастворимой фазе снегового покрова в окрестностях ТЭЦ-3 (рисунок, а,б,в,г). В пробах были обнаружены частицы Sn, Pb, Fe с S, Fe с O, сульфиды Zn, обнаружены алюмосиликатные и железистые микросферулы. Выявлены сульфаты Ba, вероятно представляют собой барит. Стоит отметить что Al-Si сферулы являются типичными частицами в выбросах угольных теплоэлектростанций. Выявленные металлсодержащие фазы возможно использовать как индикаторные для твердой фазы снегового покрова в окрестности ТЭЦ-3.

Барий присутствует в составе золы углей в карбонатной и сульфидной формах, за счет этого, мелкодисперсные частицы в выбросах теплоэлектростанций обогащены барием [2].

Образование алюмосиликатных микросферул происходит в результате плавления минеральных компонентов при сжигании углей, их непосредственная миграция в газовом потоке и их раздува за счет захваченных газовых включений [11-13].

Размеры алюмосиликатных микросферул в нерастворимой фазе снегового покрова в окрестностях ТЭЦ-3 имеют размеры от 0,17 до 32 мкм.

По своей морфологии, характеру поверхности, данные микросферулы соответствуют типичным алюмосиликатным микросферулам в составе угольных выбросов от ТЭЦ [2].

Они могут переноситься воздушными массами на большие расстояния и зависят от высоты источника выбросов. При высоте 20 м и более 100 м перенос выше упомянутых частиц может мигрировать от 10 до 60 км соответственно. Гладкие сферулы были сформированы при высокой температуре полного сгорания угля или жидкого топлива (мазута). Пористые сферулы образовались при низких температурах (700-750 °С) неполного сгорания угля или жидкого топлива (мазута) [21, 23].

По данным исследований [4,25] в пробах твердого осадка снега в зоне воздействия Томской ГРЭС-2 присутствуют алюмосиликатные микросферулы (их часто называют «сферы горения») и металлические микросферулы. По результатам изучения минерального состава и определения типов техногенных фаз в твердых частицах снега в зоне влияния теплоэлектростанции ТЭЦ-5 г. Омска, так же были обнаружены аналогичные микросферулы [26].

Многолетние исследования в области медицины доказали, что частицы угольной пыли вызывают массовую гибель легочных макрофагов, а сажа способствует учащению катаральных изменений носоглотки. Установлены прямые связи между высокими концентрациями угольных частиц в воздухе с хроническим бронхитом, а также с аллергическим ринитом [29, 30]. Загрязнение атмосферного воздуха города выбросами ТЭЦ в первую очередь сказывается на здоровье детского организма в силу интенсивности у детей обменных процессов, несовершенства гомеостаза и неустойчивости иммунитета [31]. Крупные частицы аэрозоля задерживаются кожей и слизистой оболочкой верхних дыхательных путей. Частицы с размерами ~10 мкм проникают в альвеолы, растворимые частицы аэрозоля через легочные альвеолы попадают в кровь и легочную жидкость, циркулируя вместе с ними. Они могут переноситься к различным органам, при этом часть из них может быть удалена органами выделения, а часть, накапливаясь в том или ином органе, может достичь токсичных концентраций. К наиболее опасной фракции относятся частицы размером 0,3–0,5 мкм. Поступление вредных веществ в организм человека через органы дыхания хорошо изучено [29].

**Заключение.** В результате проведенной оценки уровня аэротехногенного загрязнения в окрестностях ТЭЦ-3 г. Караганды по данным изучения микроэлементного состава нерастворимой фазы снегового покрова можно сделать следующие выводы.

1. Согласно нормативной градации определен очень высокий уровень пылевого загрязнения. У населения, проживающего вблизи ТЭЦ-3 могут увеличиться хронические заболевания органов

дыхания. По мере удаления от ТЭЦ-3 величина пылевой нагрузки имеет тенденцию к уменьшению во всех изучаемых направлениях.

2. Наибольшая величина пылевой нагрузки и среднесуточного притока химических элементов на снеговой покров приходится на ближнюю зону (0,5-0,6 км) воздействия ТЭЦ-3. Это связано с тем, что более крупные пылевые частицы осаждаются возле источника загрязнения, а более мелкие переносятся воздушными потоками на дальнейшее расстояние. Кроме того, известен эффект вымывания ледяной крупой пылевых выбросов теплоэлектростанций что обуславливает их осаждение вблизи источника. Так же возможен ветровой перенос от складов углей или во время разгрузки угля.

3. Анализ данных показал, что наиболее вероятными элементами-индикаторами в твердой фазе снегового покрова, представляющими особую экологическую опасность, в окрестностях ТЭЦ-3 являются Sb, Ba, Hg, Zn, Cr, Co, As. Выявленные элементы-индикаторы с высокой долей вероятности отражают геохимическую специализацию используемого топлива и зольного уноса, а также особенности сгорания топлива.

4. Выявлены Al-Si и Fe содержащие сферулы в пробах, составляющие класс крупных (размер до 32 мкм) и мелких частиц (размер менее 1 мкм), способных проникать в респираторные органы людей. Согласно литературному обзору о зависимости заболеваемости, состава и размера пылевых частиц люди, проживающие в изучаемом районе, могут страдать заболеваниями органов дыхания.

5. Степень обогащения твердой фазы снегового покрова, которая оценивается суммарным показателем загрязнения, в среднем составляет  $Z_c=72$ , что соответствует среднему уровню загрязнения и умеренно опасной для здоровья человека экологической ситуации.

6. Полученные данные могут быть использованы для оценки риска здоровью населения, проживающего в окрестностях ТЭЦ-3.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kim E., Hopke P.K., Edgerton E.S. Source identification of Atlanta aerosol by positive matrix factorization // Journal of the Air and Waste Management Association. – 2003. – Vol. 53. – P. 731-739.
- [2] Аэрозоли Сибири / [И.С. Андреева и др.]; отв. ред. К.П. Куценогий; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Институт химической кинетики и горения [и др.]. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. – 548 с.
- [3] Таловская А.В. Геохимическая характеристика пылевых атмосферных выпадений на территории г. Томска // Оптика атмосферы и океана. – 2010. – Т. 23, № 6. – С. 519-524.
- [4] Ардаков Г.Н. Использование снежного покрова в городах для оценки их влияния на окружающую природную среду: Автореф. дис. ... канд. тех. наук. – Самара, 2004. – 21 с.
- [5] Битюкова В.Р., Касимов Н.С., Власов Д.В. Экологический портрет российских городов // Экология и промышленность России. – 2011. – № 4. – С. 12.
- [6] Валетдинов А.Р. Технология комплексной оценки влияния промышленных объектов на загрязненность тяжелыми металлами природных сред по результатам мониторинга снежного покрова: Автореф. дис.... канд. тех. наук. – Казань, 2006. – 19 с.
- [7] Воронцова А.В., Зарина Л.М., Тимиргалеев А.И. Мониторинг поведения тяжелых металлов в снежном покрове урбанизированных территорий // Геология в школе и вузе: Геология и цивилизация: Мат. международн. конф. – СПб., 2007. – С. 90-94.
- [8] Методические рекомендации по организации мониторинга источников антропогенного воздействия на окружающую среду в составе производственного экологического контроля. – Пермь, 2006. – 31 с.
- [9] Панин М.С. Химические элементы в пылевых выбросах Усть-Каменогорского металлургического предприятия ОАО «Казцинк» Республики Казахстан / М.С. Панин // VI Международная научно-практическая конференция «Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде». – Семей, 2010. – С. 144-146.
- [10] Ажаев Г.С. Оценка экологического состояния г. Павлодара по данным геохимического изучения жидких и пылевых атмосферных выпадений: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – Томск, 2007. – 25 с.
- [11] Dai S., Li D., Chou C.L., Zhao L., Zhang Y., Ren D., Ma Y., Sun Z., Radmacher W., Mohrhauer P. Die direkte Bestimmung des Miner Y. Mineralogy and geochemistry of boehmite-rich coals: New in- alstoff – gehalters von steinkohlen // Brennstoff – Chemie, 1955.sights from the Haerwusu Surface Mine, Jungar Coalfield, Inner. – Vol. 36, N 15-16. – P. 236-239. Mongolia, China // Int. J. Coal Geol. – 2008. – Vol. 74, N 3-4.
- [12] Кизильштейн Л.Я. Алюмосиликатные микросферы золы пылеугольного сжигания углей / Л.Я. Кизильштейн, А.Л. Шпицглюз, В.Г. Рылов // Химия твердого топлива. – 1987. – № 6. – С. 122-126.
- [13] Кизильштейн Л.Я. Магнетитовые микрошарики из золы-уноса пыле-угольного сжигания углей на ТЭС / Л.Я. Кизильштейн, А.С. Калашников // Химия твердого топлива. – 1991. – № 6. – С. 128-134.
- [14] Электронный ресурс. Энергопроизводящее предприятие ТЭЦ-3 АО «Караганда Энергоцентр». URL:<http://chistoprudov.livejournal.com/130638.html?thread=11383118> (дата обращения 15.03.2014)

- [15] Назаров И.М. Использование сетевых снеговосъемок для изучения загрязнения снежного покрова / И.М. Назаров, Ш.Д. Фридман, О.С. Ренне // Метеорология и гидрология. – 1978. – № 7. – С. 74-78.
- [16] Сает Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П., Смирнова Р. С., Башаркевич И. Л., Онищенко Т. Л., Павлова Л. Н., Трефилова Н. Я., Ачкасов А. И., Саркисян С. Ш. / Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
- [17] Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. – Л.: Гидрометеоздат, 1985. – 182 с.
- [18] Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186 № 2932 83. – М.: Госкомгидромет, 1991. – 693 с
- [19] Пат. 2229737 Россия, МПК<sup>7</sup> G 01 V 9/00. Способ определения загрязненности снегового покрова техногенными компонентами/Язиков Е.Г., Шатилов А.Ю., Таловская А.В.; заявитель и патентообладатель. Томский политехн. ун-т. – № 2002127851; заявл. 17.10.2002; опубл. 27.05.2004.
- [20] Глазовский Н.Ф. Техногенные потоки вещества в биосфере // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. – М.: Наука, 1982. – С. 86-95.
- [21] Беляев С.П., Бесчастнов С.П., Хомушка Г.М., Моршина Т.И., Шилина А.И. Некоторые закономерности загрязнения природной среды продуктами сгорания каменного угля на примере г. Кызыла // Метеорология и гидрология. – 1997. – № 12. – С. 54-63.
- [22] Рапута, В.Ф. Модели реконструкции полей длительных выпадений аэрозольных примесей / В. Ф. Рапута // Оптика атмосферы и океана. – 2007. – Т. 20, № 6. – С. 506- 511.
- [23] Твердые фазы аэрозолей в природно-технических системах городов Прибайкалья / В.А. Скворцов, Н.В. Федорова, В.П. Рогова, Д.А. Чурсин // Геоэкология. – 2011. – № 1. – С. 31-39.
- [24] Таловская А.В., Язиков Е.Г., Филимоненко Е.А. Оценка загрязнения атмосферного воздуха урбанизированных районов томской области по данным изучения снегового покрова // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. – 2014. – № 5. – С. 408-417.
- [25] Калинина, С. Ю. Поиск рационального использования экибастузских углей [Электронный ресурс] / С. Ю. Калинина, С. И. Арбузов, С. Г. Маслов // Материалы II Международной Казахстанско-Российской конференции по химии и химической технологии, посвященной 40-летию КарГУ имени академика Е. А. Букетова, 28 февраля – 2 марта 2012 г., Караганда: в 2 т. / Карагандинский государственный университет; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); Институт химических наук им. А. Б. Бектурова. – 2012. – Т. 2. – С. 26-29.
- [26] Talovskaya, A.V., Raputa, V.F., Litay, V.V., Yazikov, E.G., Yaroslavtseva, T.V., Mikhailova, K.Y., Parygina, I.A., Lonchakova, A.D., Tretykova, M.I. Dust pollution of the atmosphere in the vicinity of coal-fired power plant (Omsk City, Russia) // Proceedings of SPIE. – 2015. – Vol. 9680: Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. – [96804X, 6 p.].
- [27] Артамонова С.Ю. Минерально-геохимические индикаторы техногенных источников аэрозольного загрязнения / С. Ю. Артамонова, А. С. Лапухов, Л. В. Мирошниченко и др // Химия в интересах устойчивого развития. – 2007. – Т. 15, № 6. – С. 643-652.
- [28] Macrocomponent composition of snow cover of Blagoveshchensk city / В. И. Радомская, Д. В. Юсупов, Л. М. Павлова // Вода: химия и экология. – 2014. – № 8 (74). – С. 95-103.
- [29] Воробьева А.И., Медведев М.А., Волкотруб Л.П., Васильев Н.В. Атмосферные загрязнения Томска и их влияние на здоровье населения. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1992. – 192 с.
- [30] Влияние качества воздушной среды на здоровье человека [в Тюмени] / Н. А. Мьякишева // Роль социальных, медико-биологических и гигиенических факторов в формировании здоровья населения: сб. ст. IV всерос. науч.-практ. конф. (сент. 2006 г.). – Пенза, 2006. – С. 58-60
- [31] Габитов Н.Г. Гигиеническая оценка загрязнения окружающей среды и состояния здоровья населения города с крупным промышленным комплексом: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. – Казань: КГМА, 1996. – 18 с.
- [32] Юдович Я.Э. Кетрис М.П. Токсичные элементы примеси в ископаемых углях. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 656 с.

## REFERENCES

- [1] Kim E., Hopke P.K., Edgerton E.S. Source identification of Atlanta aerosol by positive matrix factorization // Journal of the Air and Waste Management Association. **2003**. Vol. 53. P. 731-739. (in Eng.).
- [2] Aerosols of Siberia / [I.S. Andreeva et al.]; Otv. Ed. K.P. Kuchenogy; Ros. Acad. Sciences, Sib. Institute of Chemical Kinetics and Combustion [et al.]. Novosibirsk: Publishing house of the SB RAS, **2006**. 548 p. (in Russ.).
- [3] Talovskaya A.V. Geochemical characteristics of dusty atmospheric deposition in the territory of Tomsk // Optics of the Atmosphere and the Ocean, **2010**. Vol. 23, N 6. P. 519-524. (in Russ.).
- [4] Ardakov G.N. The use of snow cover in cities to assess their impact on the natural environment: the author's abstract. Dis. ... cand. those. sciences. Samara, **2004** (in Russ.).
- [5] Bitukova VR, Kasimov NS, Vlasov DV Ecological portrait of Russian cities // Ecology and industry of Russia. **2011**. N 4. 12 p. (in Russ.).
- [6] Valetdinov A. Technology of integrated assessment of the influence of industrial facilities on pollution by heavy metals of natural environments according to the results of snow cover monitoring: author's abstract. Dis. .... cand. those. sciences. Kazan, **2006**. 19 p. (in Russ.).
- [7] Vorontsova AV, Zarina LM, Timirgaleev AI Monitoring of the behavior of heavy metals in the snow cover of urbanized areas // Geology in school and university: Geology and Civilization: Mat. Internationally. Conf. St. Petersburg, **2007**. P. 90-94 (in Russ.).
- [8] Methodological recommendations for monitoring the sources of anthropogenic impact on the environment as part of industrial environmental monitoring. Perm, **2006**. P. 31-46 (in Russ.).

[9] Panin M.S. Chemical elements in dust emissions of the Ust-Kamenogorsk metallurgical enterprise JSC Kazzinc of the Republic of Kazakhstan / MS. Panin // VI International Scientific and Practical Conference "Heavy Metals and Radionuclides in the Environment". Semey, **2010**. P. 144-146 (in Russ.).

[10] Azhayev GS Assessment of the ecological state of Pavlodar city according to the data of geochemical study of liquid and field atmospheric deposition: Abstract of the dissertation. Dis ... .kand. geol.-miner. sciences. Tomsk, **2007**. 25 p. (in Russ.).

[11] Dai S., Li D., Chou C.L., Zhao L., Zhang Y. Ren D., Ma Y., Sun Z. Radmacher W, Mohrhauer P. Die direkte Bestimmung des Miner Y. Mineralogy and geochemistry of boehmite-rich coals: New in- alstoff – gehalters von steinkohlen // Brennstoff – Chemie, 1955.sights from the Haerwusu Surface Mine, Jungar Coalfield, Inner. Vol. 36, N 15-16. P. 236-239. Mongolia, China // Int. J. Coal Geol. **2008**. Vol. 74, N 3-4 (in Eng.)

[12] Kizilstein L.Y. Aluminosilicate microspheres of ash of coal-dust coal combustion / L.Ya. Kizilstein, A.L. Spitsgluz, V.G. Rylov // Chemistry of solid fuels. **1987**. N 6. P. 122-126 (in Russ.).

[13] Kizilstein L.Y. Magnetite microspheres from fly ash of coal-dust coal combustion at TPP / L.Ya. Kizilstein, A.S. Kalandashnikov // Chemistry of Solid Fuel. **1991**. N 6. P. 128-134 (in Russ.).

[14] Electronic resource. Energy-producing enterprise of CHPP-3 of JSC "Karaganda Energocenter". URL: <http://chistoprudov.livejournal.com/130638.html?Thread=11383118> (circulation date 15.03.2014) (in Russ.).

[15] Nazarov I. Use of network snow surveys to study snow cover contamination / IM. Nazarov, Sh.D. Friedman, O.S. Renne // Meteorology and hydrology. **1978**. N 7. P. 74-78 (in Russ.).

[16] Saet Yu.E., Revich BA, Yanin EP, Smirnova RS, Basharkevich IL, Onishchenko TL, Pavlova LN, Trefilova N.Ya., Achkasov AI, Sarkisyan S.Sh. / Geochemistry of the environment. M.: Nedra, **1990**. 335 p. (in Russ.).

[17] Vasilenko VN, Nazarov IM, Fridman Sh.D. Monitoring of snow cover contamination. L.: Gidrometeoizdat, **1985**. 182 p. (in Russ.).

[18] Guidelines for the control of atmospheric pollution. RD 52.04.186 N 2932 83. M.: Goskomgidromet, **1991**. 693 p. (in Russ.).

[19] Pat. 2229737 Russia, IPC7 G 01 V 9/00. A method for determining contamination of snow cover by technogenic components / Yazikov EG, Shatilov A.Yu., Talovskaya AV; The applicant and the patent owner. Tomsk Polytechnic Institute. Un-t. N 2002127851; Claimed. 17.10.2002; Publ. 27.05.2004 (in Russ.).

[20] Glazovsky N. Technogenic flows of matter in the biosphere // Extraction of minerals and geochemistry of natural ecosystems. M.: Nauka, **1982**. P. 86-95 (in Russ.).

[21] Belyaev SP, Beschastnov SP, Khomushku GM, Morshina TI, Shilina AI Some regularities of pollution of the natural environment by combustion products of coal on the example of Kyzyl town // Meteorology and hydrology. **1997**. N 12. P. 54-63 (in Russ.).

[22] Raputa, VF Models for the reconstruction of fields of long-term deposition of aerosol impurities / VF Raputa // Optics of the Atmosphere and the Ocean. **2007**. Vol. 20, N 6. P. 506-511 (in Russ.).

[23] Solid phases of aerosols in the natural and technical systems of the cities of Pribaikalye / V.A. Skvortsov, N.V. Fedorova, V.P. Rogova, D.A. Chursin // Geoecology. **2011**. N 1. P. 31-39 (in Russ.).

[24] Talovskaya AV, Yazikov EG, Filimonenko EA Assessment of atmospheric air pollution in urban areas of the Tomsk region according to the study of snow cover // Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology, **2014**. N 5. P. 408-417 (in Russ.).

[25] Kalinina, S.Yu. Search for the rational use of Ekibastuz coals / S. Yu. Kalinina, SI Arbutov, SG Maslov // Proceedings of the II International Kazakhstan-Russia Conference on Chemistry and Chemical Technology, Dedicated to the 40th anniversary of the University of Karelia named after academician EA Buketov, February 28 – March 2, **2012**, Karaganda: 2 vol. / Karaganda State University; National Research Tomsk Polytechnic University (TPU); Institute of chemical sciences A.B. Bekturov. 2012. Vol. 2. P. 26-29 (in Russ.).

[26] Talovskaya A.V., Raputa V.F., Litay V.V., Yazikov E.G., Yaroslavtseva T.V., Mikhailova K.Y., Parygina I.A., Lonchakova A.D., Tretykova M.I. Dust pollution of the atmosphere in the vicinity of coal-fired power plant (Omsk City, Russia) // Proceedings of SPIE. **2015**. Vol. 9680: Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. 96804X, 6 p. (in Eng.).

[27] Artamonova S.Yu. Mineral-geochemical indicators of technogenic sources of aerosol pollution / S. Yu. Artamonova, AS Lapukhov, LV Miroshnichenko and others // Chemistry for Sustainable Development. **2007**. Vol. 15, N 6. P. 643-652 (in Russ.).

[28] Macrocomponent composition of snow cover of Blagoveshchensk city / VI Radomskaya, DV Yusupov, LM Pavlova // Water: chemistry and ecology. **2014**. N 8(74). P. 95-103 (in Russ.).

[29] Vorobyova AI, Medvedev MA, Volkotrub LP, Vasiliev NV Tomsk's atmospheric pollution and their impact on public health. Tomsk: Publishing house Tom. University, **1992**. 192 p. (in Russ.).

[30] The influence of air quality on human health [in Tyumen] / NA Myakisheva // The role of social, medical-biological and hygienic factors in the formation of public health: coll. Art. IV vseros. Scientific-practical. Conf. (September 2006). Penza, **2006**. P. 58-60 (in Russ.).

[31] Gabitov NG Hygienic assessment of environmental pollution and the state of health of the city's population with a large industrial complex. Author's abstract. Diss. to the soot. scientist. step. Cand. honey. Sciences. Kazan: KGMA, **1996**. 18 p. (in Russ.).

[32] Yudovich Ya.E. Ketris M.P. Toxic elements of the impurity in fossil coals. Ekaterinburg: UrB RAS, **2005**. 656 p. (in Russ.).

Т. Е. Адильбаева, А. В. Таловская, Е. Г. Язиков

Томск политехникалық университеті, Ресей

**ҚАР ЖИНАУ НЕГІЗІНДЕ ҚАРАҒАНДЫ ҚАЛАСЫ ЖЫЛУ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫНЫҢ (ЖЭС-3) ТӨҢІРЕГІНДЕГІ АЭРОТЕХНОГЕНДІ ЛАСТАНУДЫ БАҒАЛАУ (ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ)**

**Аннотация.** Жылу энергетикаларының лақтыру нысандары халықтың денсаулығы мен ауаның сапасына әсерін тигізетіні мәлім. Осы кәсіпорындардың қатты бөлшектерді лақтыру көлемін бағалау және олардың алыс жерге ұшып жетуі өте зор маңызға ие. Берілген мақалада қар жинау негізінде Қарағанды қаласы электр станциясының төңірегіндегі ауаның ластану дәрежесін бағалау нәтижелері көрсетілген.

Қардың қатты шөгінді құрамында техногенді түзілімдер табылғанын, сонымен қатар, зерттеліп жатқан территорияда қар жабынындағы шаңның атмосферадағы химиялық элементтер кешенімен ортатәуліктік түсу анықтамасы негізінде ауаның техногенді ластануы анықталды.

Жылу электр станциясының мұржасынан 0,5 км аралығында өте жоғары ластану дәрежесі анықталған. Жылу электр станциясынан 0,5-2,5 км алшақтаған сайын шаң-тозаң жүктеме шамасының кему тенденциясы айқандалды. Оның себебі ретінде жылу электр станциясының түтін жолында су буының қатып қалғандағы бөлшектер көлемі мен мұз жармасымен тым ұсақ бөлшектерді шаю процесстерімен байланысты болуы мүмкін. Ауыр металлдардың, сирек, жерсирек және радиоактивті элементтердің жиналу дәрежесі мәліметтері жиналып, сонымен қатар, қардың қатты фазасында бұл элементтер ассоциациясы бөлініп алынды. Қарға шөккен ауадағы қатты өлшенген бөлшектердің заттық құрамының зерттеуі, негізінде, олар жалпы дұрыс жанбаған Al-Si-микросферулалы, Fe-микросферулалы көмір бөлшектерін көрсетті.

**Түйін сөздер:** қар жамылғысы, атмосфераның ластануы, электр станциясы, микроэлементтер, техногендік қалыптастыру.

Адильбаева Тамара Ерлановна – аспирант 2-го года обучения Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Таловская Анна Валерьевна – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геоэкологии и геохимии Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Язиков Егор Григорьевич – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геоэкологии и геохимии Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 4, Number 424 (2017), 248 – 257

**Zh. U. Myrkhalykov<sup>1</sup>, T. S. Bazhirov<sup>1</sup>, A. F. Kemalov<sup>2</sup>, R. A. Kemalov<sup>2</sup>,  
K. K. Syrmanova<sup>1</sup>, Ye. T. Botashev<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>M. Auezov South Kazakhstan state university, Shymkent, Kazakhstan,

<sup>2</sup>Kazan federal university, Kazan, Russia.

E-mail: tynlybek.bazhirov@gmail.com

## COMPLEX MODIFICATION TECHNOLOGY OF BITUMINOUS INSULATING MATERIALS

**Abstract.** Strategic trend of modern oil refining industry is concluded in further extension of oil refining. On this evidence, development of intensive technology for processing of heavy oil residuals taking into account new scientific achievements on physical-chemical mechanics of oil dispersed systems [1], with a view to produce special bitumen with tailor-made properties and paint materials on their basis is actual task.

High insulating properties with respect to aqueous media, as well as cheapness and practically inexhaustible domestic raw material base refer to the primary advantages of bitumen as a film-forming basis of paint materials [1-4]. Factors constraining wide use of coatings on the bitumen basis are their low physical-mechanical properties, i.e. hardness, adhesion and strength [5-9]. This is connected with raw material chemical composition features, technological conditions of the heavy oil residuals' oxidation process [10].

It is expedient to use fluxes of heavy oils of naphtheno-aromatic base with minimal content of paraffin hydrocarbons, which reserves are extremely insignificant, as the raw material for production of special bitumen. In this connection, enhancement of the bitumen production raw material base by involvement of the heavy oil residuals of resin-paraffin base proves actuality of the topic.

**Keywords:** heavy oil residuals, oil dispersed systems, film-forming substances, petrochemistry, thermoplastic resins, pigments, asphaltenes, physical-mechanical properties of coatings.

УДК 543.422.25

**Ж. У. Мырхалыков<sup>1</sup>, Т. С. Бажиров<sup>1</sup>, А. Ф. Кемалов<sup>2</sup>, Р. А. Кемалов<sup>2</sup>,  
К. К. Сырманова<sup>1</sup>, Е. Т. Боташев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,

<sup>2</sup>Казанский федеральный университет, Казань, Россия

## ТЕХНОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОЙ МОДИФИКАЦИИ БИТУМНЫХ ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Аннотация.** Стратегическое направление развития современной нефтеперерабатывающей промышленности заключается в дальнейшем углублении переработки нефти. В свете этого разработка интенсивной технологии переработки тяжелых нефтяных остатков с учетом новых научных достижений о физико-химической механике нефтяных дисперсных систем (НДС) [1], с целью получения спецбитумов с заданными свойствами и лакокрасочных материалов на их основе является актуальной задачей.

К основным достоинствам битумов как пленкообразующей основы лакокрасочных материалов (ЛКМ) [1-4] относят их высокие изолирующие свойства по отношению к водным средам, а также дешевизна и практически неисчерпаемая отечественная сырьевая база. К факторам, сдерживающим широкое использование покрытий на битумной основе, относятся их низкие физико-механические свойства, а именно твердость, адгезия и прочность [5-9]. Это связано с особенностями химического состава сырья, технологическими условиями процесса окисления тяжелых нефтяных остатков [10].



В качестве сырья для производства спецбитумов целесообразно применять гудроны тяжелых нефтей нафтеноароматического основания с минимальным содержанием парафиновых углеводородов, запасы которых крайне незначительны. В связи с этим расширение сырьевой базы битумного производства за счет вовлечения тяжелых нефтяных остатков смолисто-парафинового основания подтверждает актуальность темы.

**Ключевые слова:** тяжелые нефтяные остатки (ТНО), нефтяные дисперсные системы (НДС), пленкообразующие вещества, нефтехимия, термопластичные смолы (ТПС), пигменты, асфальтены, физико-механические свойства покрытий.

**Введение.** Стратегическое направление развития современной нефтеперерабатывающей промышленности заключается в дальнейшем углублении переработки нефти. В свете этого разработка интенсивной технологии переработки тяжелых нефтяных остатков с учетом новых научных достижений о физико-химической механике нефтяных дисперсных систем (НДС) [1], с целью получения спецбитумов с заданными свойствами и лакокрасочных материалов на их основе является актуальной задачей.

К основным достоинствам битумов как пленкообразующей основы лакокрасочных материалов [1-4] относят их высокие изолирующие свойства по отношению к водным средам, а также дешевизна и практически неисчерпаемая отечественная сырьевая база.

К факторам, сдерживающим широкое использование покрытий на битумной основе, относятся их низкие физико-механические свойства, а именно твердость, адгезия и прочность [5-9]. Это связано с особенностями химического состава сырья, технологическими условиями процесса окисления тяжелых нефтяных остатков (ТНО) [10].

В качестве сырья для производства спецбитумов целесообразно применять гудроны тяжелых нефтей нафтеноароматического основания с минимальным содержанием парафиновых углеводородов, запасы которых крайне незначительны. В связи с этим расширение сырьевой базы битумного производства за счет вовлечения тяжелых нефтяных остатков смолисто-парафинового основания подтверждает актуальность темы.

Таким образом, основной задачей проводимых исследований является исследование закономерностей процесса окисления ТНО с целью получения модифицированных спецбитумов и разработка технологии производства ЛКМ на их основе. Основными этапами для реализации этой задачи являются:

- сравнительная оценка химической активности добавок на продолжительность окисления остаточного сырья, состава и свойств спецбитумов;
- изучение влияния многокомпонентного модификатора бифункционального действия на реологические и физико-механические свойства битумных лакокрасочных материалов;
- разработка рецептур и технологий получения модифицированных битумных лакокрасочных материалов с различными пигментами и наполнителями;

Научной новизной работы является разработка состава и установление закономерности влияния многокомпонентного бифункционального модификатора на скорость окисления тяжелых нефтяных остатков, а также на физико-механические и изолирующие свойства битумных лакокрасочных материалов.

**Методы исследований.** С использованием ИК-спектроскопии и метода импульсного ЯМР установлено: 1) в процессе окисления гудрона совместно с многокомпонентным бифункциональным модификатором протекает химическое структурирование длинноцепочных парафиновых углеводородов (УВ), с образованием нафтено-ароматических структур; 2) определяющую роль в ТНО и битумах играют обменные взаимодействия фаз, обусловленные конформацией парафиновых УВ; 3) влияние упорядочения структурно-динамических параметров нефтяных систем различной природы на физико-химические, адгезионно-прочностные и реологические свойства спецбитумов и битумных лакокрасочных материалов (БЛМ), приготовленных на их основе.

**Результаты исследований.** В работе установлены закономерности изменения физико-механических, оптических, реологических и изоляционных свойств БЛМ при совмещении с пигментами и наполнителями. Основываясь на закономерностях химического структурирования парафиновых УВ в процессе окисления остаточного сырья с многокомпонентной бифункциональной добавкой, модификации БЛМ пигментами, полимерными наполнителями и элементной серой предложены технологические решения производства спецбитумов, и БЛМ на их основе. На базе

ЦЛО АО «Хитон» проведены расширенные лабораторные испытания по оценке качественных характеристик наполненных БЛМ с положительными результатами. В разработанной принципиальной технологической схеме в качестве диспергирующего устройства предложен роторно-пульсационный акустический аппарат, позволяющий производить наполненные БЛМ с высокими физико-механическими свойствами и седиментационной устойчивостью при хранении и транспортировке.

**Влияние природы нефтяного сырья на физико-механические свойства битумных покрытий.** Изучены возможности использования битумов дорожного и строительного назначений (таблица 1) в производстве спецбитумов – сырья для получения БЛМ, а также исследуются способы интенсификации процесса окисления битумов: регулированием технологических параметров и введением катализаторов, содержащих металлы переменной валентности.

Таблица 1 – Физико-химические характеристики битумов для получения основы БЛМ

Показатели	Дорожного назначения				Строительного назначения			
	Елховского НПУ	Зюзеевского НБЗ	Шугуровского НБЗ	ГОСТ 22245-90	Елховского НПУ	Зюзеевского НБЗ	Шугуровского НБЗ	ГОСТ 6617-76
Пенетрация *0,1 мм, 25 <sup>0</sup> С 0 <sup>0</sup> С	107,3 35,3	96,1 35,7	91 37	90-130 28	26,3 24	43,3 23	20,3 12,7	21-40 –
Растяжимость, см 25 <sup>0</sup> С 0 <sup>0</sup> С	84,5 5,45	52 4,1	73 4,8	65 4	6,2 3	6,75 2,4	2,8 1,32	3,0 –
Температура, <sup>0</sup> С - размягчения по КиШ - хрупкости по Фраасу - вспышки	48 -23,2 238	48,5 -22,2 230	47,6 -18 231	43 -17 230	70 -18 238	74 -17 218	81 -16 234	70-80 – 240
Изменение температуры размягчения после прогрева, <sup>0</sup> С	1,5	1,0	1,2	5	–	–	–	–

Исследования физико-механических свойств БЛМ на основе полученных спецбитумов показывают, что максимальной твердости соответствуют низкие значения адгезионно-прочностных свойств. Рост твердости объясняется увеличением хрупкости битумной пленки, что свидетельствует о снижении подвижности фрагментов химической структуры битума, что неизбежно влечет за собой рост внутренних напряжений и, как следствие, снижение их адгезии. Этому же способствует уменьшение содержания смол в составе битума, участвующих в формировании адгезионных связей битумное покрытие (Пк) – металл. Известно, что одним из наиболее эффективных путей регулирования химических процессов и свойств продуктов является использование катализаторов. Для интенсификации процесса окисления проведено модифицирование битумов Шугуровского НБЗ (ШНБЗ) порошком окатышей и пиролюзитом. Гранулометрический и химический состав порошка окатышей, (% масс.): остаток на сите 0,14-2 мм., Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 90,53, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (FeO·Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) – 4,90, SiO – 3%, Zn, Pb, Mg, Mn, Cr, Cu, Al, Sn, Si, Fe – 1,57%. Пиролюзит выпускается по ТУ 6-10-1806-86 с массовой долей марганца до 80%. Входящие в состав катализаторов – Mn и Fe в ряду металлов по убывающей активности находятся на втором и шестом местах соответственно, что указывает на высокую степень инициирования окислительных процессов. Незначительное влияние их на скорость процесса окисления объясняется тем, что окислительная полимеризация компонентов гудрона в основном завершается на стадии получения строительного битума [11]. В соответствии с ГОСТ 21822-87 и 5631-79, полученные образцы спецбитумов и БЛМ не соответствуют по содержанию нерастворимых и нелетучих веществ, что приводит к недолговечности Пк на битумной основе.

С целью определения взаимосвязи физико-механических свойств БЛМ на основе битумов ШНБЗ, с высокой степенью смолистости и ароматичности гудрона Мордово-Кармальского ПБ (таблица 2) проводилось изучение кинетики окисления и структурно-группового состава продуктов

Таблица 2 – Физико-химические свойства гудронов

Показатели	Гудроны		
	Карабашский НБЗ	Елховское НПУ	Мордово-Кармальный ПБ
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	0,9686	0,9878	0,9985
Вязкость условная, ВУ <sub>80</sub> ,	22,96	51,76	80,0
Содержание, %масс.:			
- САВ	18,25	28,23	55,8
- серы	0,492	0,887	5,2
- парафинов	менее 2	15	15
Асфальтены/смолы	0,64	0,45	0,47

окисления с помощью ИК-спектроскопии. В результате исследований битумов выявлено, что в составе масел присутствует моноциклические ароматические УВ с большим содержанием парафиновых УВ до 20% масс. При этом содержание смол, в равной степени представленных бензольной и спиртобензольной частью, ответственных за адгезионно-прочностные свойства БЛМ, незначительно и составляет 5–7% масс. Таким образом, основной причиной низких адгезионно-прочностных свойств БЛМ является высокое содержание парафино-нафтеновых УВ (таблица 2), нерастворимых соединений, а также низкое суммарное содержание силикагелевых смол в ТНО.

**Модифицирование битумных изоляционных материалов.** В работе рассматривались различные подходы модифицирования БЛМ с помощью пигментов разной геометрической формы, элементной серы и полимерных наполнителей [12, 13].

Разнообразие применяемых наполнителей и пигментов (таблица 3, рисунки 1, 2) в составе БЛМ обусловлено решением двух основных задач: 1) возможности использования наполненных БЛМ в различных климатических условиях и механических нагрузках; 2) необходимостью декоративного оформления окрашиваемых поверхностей. Присутствие пигментов и наполнителей в органических Пк вызывает значительное изменение деформационно-прочностных свойств. Так пигментирование БЛМ наряду с повышением оптических свойств Пк, приводит к увеличению изолирующей способности, внутренних напряжений, модуля упругости, а также адгезионно-прочностных свойств.

Таблица 3 – Качественные характеристики пигментов

Показатели	Пигмент – наполнитель	
	порошок окатышей	железная слюдка
Содержание водорастворимых веществ, % масс	0,128	0,071
РН водной вытяжки	8,25	7,00
Плотность, г/м <sup>3</sup>	5,247	5,514
Маслоемкость, г	11,6	15,2

Учитывая данные о влиянии порошка окатышей на твердость Пк на основе доокисленных битумов строительного назначения, этот наполнитель со сферической формой зерна, используется при пигментировании БЛМ. Для сравнительного анализа пигментированных Пк в работе применяется широко распространенный антикоррозионный пигмент – железная слюдка, обладающая чешуйчатой формой частиц.

Установлено, что с увеличением  $T_{разм}$  спецбитума выше 100-110<sup>0</sup>С нарушается плотность упаковки пигмента в объеме Пк. Это происходит за счет взаимного перекрывания частиц пигмента с асфальтенами, что вызывает интенсивную коррозию металла во времени. Таким образом, в Пк необходимо создавать оптимальное объемное наполнение и использовать пигменты с дисперсностью порядка 20–30 мкм, при которых достигаются высокие деформационно-прочностные свойства с низкими внутренними напряжениями, не вызывающих разрушения Пк.

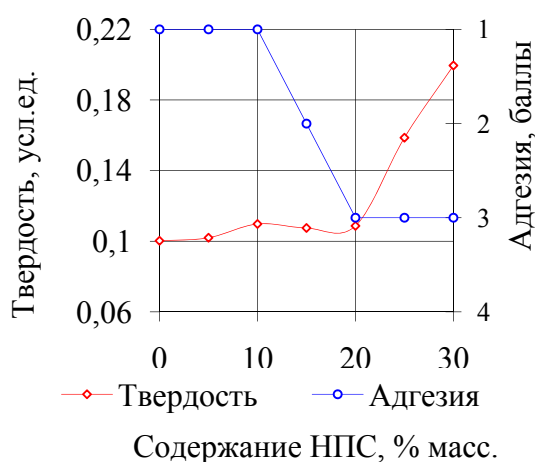


Рисунок 1 – Зависимость адгезионно-прочностных свойств битумных покрытий от содержания ТПС

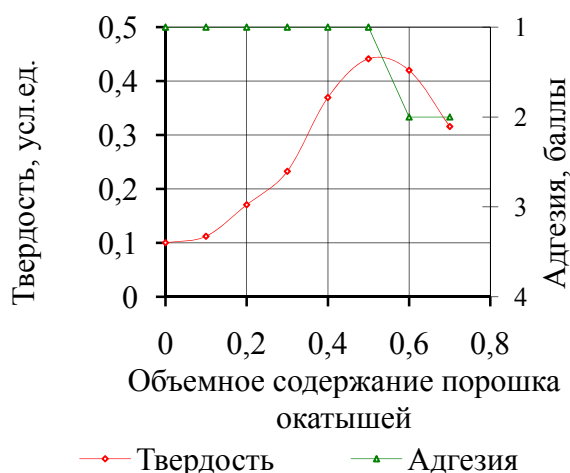


Рисунок 2 – Зависимость адгезионно-прочностных свойств от содержания порошка окатышей в составе БЛМ

Одним из путей усиления межфазной адгезии в пигментированных Пк является модифицирование поверхности дисперсной фазы. При выборе модификатора следует исходить из того, что последний должен обладать высоким сродством, как к поверхности дисперсной фазы, так и к пленкообразующему материалу. Вместе с тем важно учитывать необходимость высокой прочности и твердости Пк на его основе (рисунок 2), а также термодинамической совместимости, т.е. близости параметров растворимости компонентов битума (14,3 – 28,6 (МДж/м<sup>3</sup>)<sup>0,5</sup>). В связи с этим, использовалась термополимерная смола (ТПС).

Результаты исследований (рисунки 1, 2) свидетельствуют о синергетическом эффекте при использовании двух модификаторов – ТПС и порошка окатышей, твердость Пк при этом значительно превышает требования ГОСТ 5631-79. Известно, что пигменты, содержащие Fe<sup>3+</sup>, обладают комплексообразующим действием, т.е. повышение адгезии обусловлено образованием координационных связей между молекулами пленкообразователя и поверхностью металла. С изменением геометрической формы пигмента изменяются прочностные свойства БЛМ, за счет того, что ТПС обладает более высоким уровнем сродства к поверхности порошка окатышей и концентрируется в виде адсорбционного слоя, что подтверждают результаты микроскопических исследований. В результате ТПС играет в покрытии роль промотора адгезии пигмент – связующее, способствуя эффективной передаче напряжений, возникающих в пленке, от органической матрицы к высокомолекулярному наполнителю. Обнаружено, что пигментированные БЛМ, вследствие большой плотности частиц, седиментационно неустойчивы. Это выражается постепенным осаждением пигмента в объеме пленкообразующего под действием сил тяжести.

Таблица 4 – Физико-механические свойства пигментированных порошком окатышей БЛМ и наполненных тальком

Показатели	Состав, % масс.			Значения
	битум	тальк	порошок окатышей	
Адгезия, баллы	70 - 87	15 - 20	5 - 10	1 – 1,539
Твердость, усл. ед.				0,065–0,098
Блеск, mА				0,272– 0,311
Прочность при изгибе, мм				1–2,002
Адгезия по ISO, кгс/см <sup>2</sup>				16,364-18,182

Известно, что значительное влияние на распределение частиц в Пк оказывают силикатные наполнители, которые существенно увеличивают вязкость и тиксотропность.

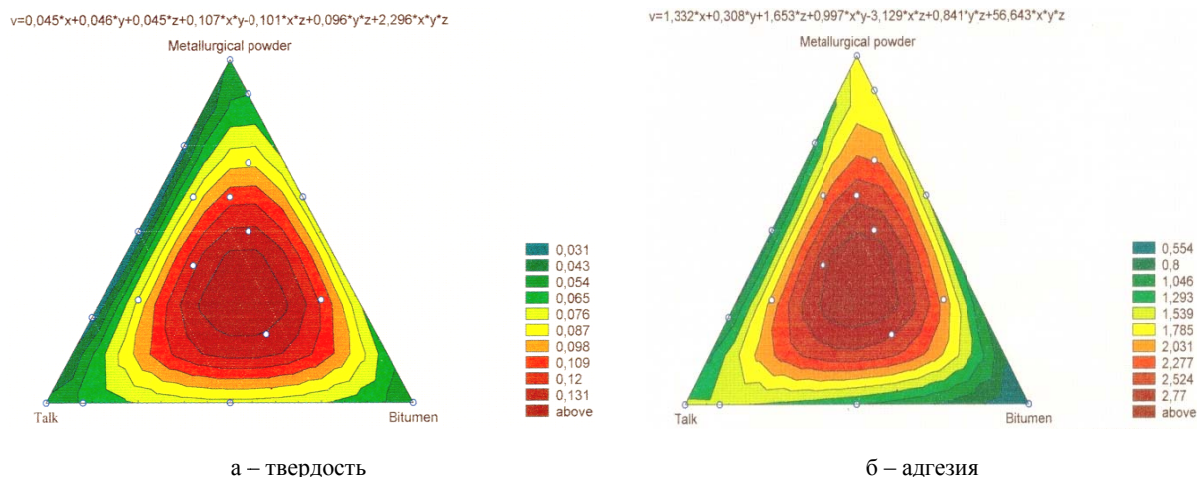


Рисунок 3 – Зависимость физико-механических свойств пигментированного БЛМ от количества входящих в его состав компонентов

Таким образом, при наполнении тальком (рисунок 4, таблица 3), происходит изменение основных физико-механических свойств БЛМ. Вместе с этим время диспергирования порошка окатышей сокращается, седиментация заметно увеличивается.

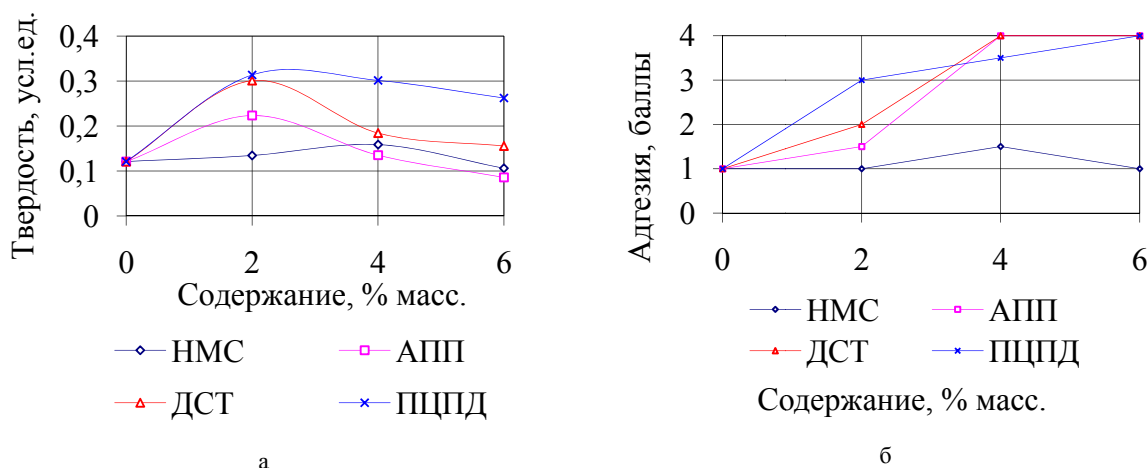


Рисунок 4 – Зависимость адгезионно-прочностных свойств БЛМ от содержания полимера

Математическое планирование исследований осуществлялось с использованием программ «STATISTIKA» с помощью треугольных диаграмм, где выделенные области соответствуют численным значениям изучаемых свойств. Разнообразие Пк обуславливается областью их применения, которое у пигментированных ограничивается интервалом изменения температур. Возникает необходимость создания Пк с высокой эластичностью. Для решения этой задачи рассмотрены два варианта: 1) модификация БЛМ полимерами и элементарной серой; 2) регулирование коллоидного состояния акустическими и гидродинамическими воздействиями.

Согласно ранним исследованиям установлено, что для исключения окислительной деструкции битум-полимерных композиций (БПК) вводятся серосодержащие соединения, способные разлагать гидроперекиси. Это приводит к пластификации БПК, которая также осуществима механактивными воздействиями.

Методом рентгеноструктурного анализа обнаружено увеличение межплоскостного расстояния, характеризуемая плотностью упаковки конденсированных ароматических структур. Таким образом, применение серы как пластифицирующего агента битум-полимерных ЛКМ, существенно расширяет возможности их использования в различных условиях.

В качестве наполнителей применялись атактический полипропилен (АПП), дивинилстирольный термоэластопласт (ДСТ), а так же побочные продукты нефтехимии – полициклопентадиена (ПЦПД) и низкомолекулярного СЭВилена (НМС).

Особое место среди каучуков общего назначения занимают термоэластопласты, как новый тип полимерных материалов, молекулы которых сконструированы таким образом, что полимерный материал обладает и свойствами каучуков и пластмасс. В тоже время в обычных условиях термоэластопласты обладают свойствами эластомеров. АПП по физико-механическим характеристикам относится к термопластам с повышенной стойкостью к солнечной радиации.

Что касается ПЦПД, то он содержит двойные связи и вступает в реакции диенового синтеза, а полученные продукты способны к отверждению по реакции окислительной полимеризации. Отходы СЭВа образуются при получении композиций на его основе и могут быть использованы для изготовления различных изделий технического назначения, а также клеевых композиций. Выявлено (рисунки 5, 6), что при поэтапном введении до 2% полимера в состав спецбитума происходит усиление основных физико-механических свойств. Введение более 2% приводит к увеличению микрогетерогенности получаемых пленок, при этом формируются дополнительные каналы

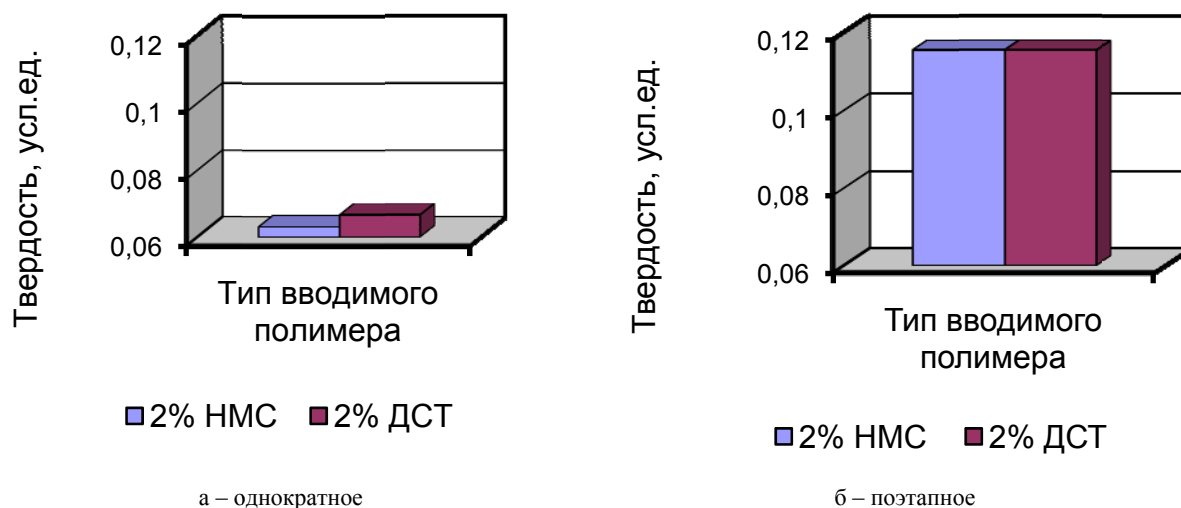


Рисунок 5 – Исследование зависимость твердости Пк от типа вводимого полимера при однократном и поэтапном совмещении с битумом

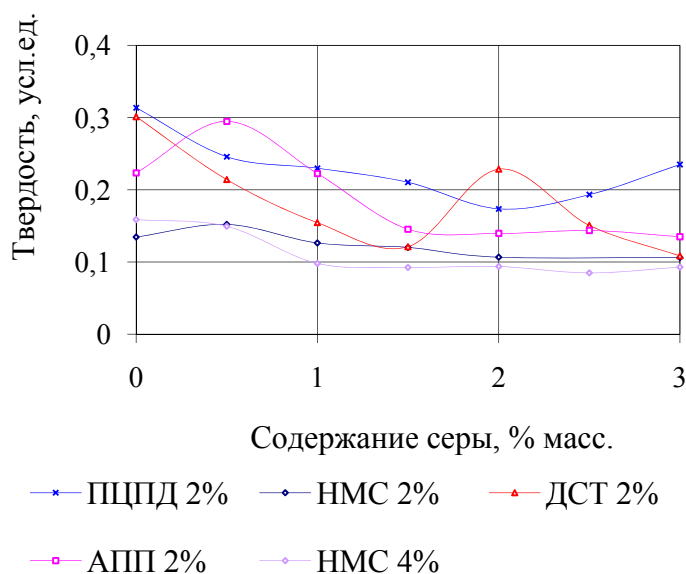


Рисунок 6 – Влияние содержания серы на твердость БЛМ

к миграции электролита к подложке и в дальнейшем к ухудшению адгезионного сопротивления. Следует отметить, что поэтапное введение наполнителей подразумевает приготовление полимерного раствора и дальнейшее его совмещение со спецбитумом. Введение элементной серы исключает окислительную деструкцию БПК (рисунки 5б, 6), позволяет снизить количество высокомолекулярных включений, и увеличить стойкость пленки к воздействию коррозионно-активной среды.

**Выводы.** Таким образом, обнаружено, что при более высоком содержании полимеров и серы превалирует гидрофильная составляющая, что приводит к снижению защитных свойств Пк. Вместе с этим выявлено, что введение неорганической фазы – пигментов и наполнителей приводит к заметному увеличению сопротивления пленки проникновению коррозионно-активной среды (3% раствора NaCl). Таким образом, определены пути повышения защитных свойств пленок за счет введения полимерных добавок, улучшающих структуру пленки, при этом наибольший эффект достигается сочетанием пигментов и наполнителей. Разработанные лакокрасочные покрытия по своим физико-механическим и защитным свойствам, многократно превышают требования ГОСТ 5631 на лак БТ-577, а также традиционные битумные покрытия по твердости, адгезии, прочностным характеристикам. Битумные ЛКМ обладают высокой седиментационной устойчивостью и различными цветовыми оттенками. Разработанные составы БЛМ могут наноситься на прокорродированные поверхности металлических конструкций, так как битумный пленкообразующий материал способен переводить продукты коррозии в пассивную форму. Это обуславливает стойкость разработанных рецептур БЛМ к термоокислительному старению и мелению в процессе эксплуатации.

Таблица 5 – Сравнительный анализ физико-механических свойств разработанных битум-полимерных ЛКМ

№ п/п	Физико-механические свойства БЛМ	Разработанные полимерные БЛМ						Лак БТ-577	Лак БТ-5100
		1	2	3	4	5	6		
1	Условная вязкость по вискозиметру ВЗ-4 при 20±0,5 <sup>0</sup> С	30						18-35	25-40
2	Массовая доля нелетучих веществ, %	41,56						39	43-48
3	Время высыхания пленки до степени 3, не более -при 20±0,5 <sup>0</sup> С, ч -при (60±2) <sup>0</sup> С, ч -при 100-110 <sup>0</sup> С, мин.	Соответствует						24 – 20	2,0 0,5 –
4	Твердость пленки по Мэ-3, усл.ед., не менее							0,2	0,1
	-5 дней выдержки	0,1332	0,2123	0,1065	0,0718	0,1675	0,2248	–	–
	-7 дней выдержки	0,1455	0,2286	0,1066	0,0938	0,1736	0,2249	–	–
	-после водонасыщения -после замораживания	0,2285 0,2820	0,2661 0,2145	0,1599 0,1676	0,0836 0,1054	0,2613 0,2955	0,1989 0,2039	– –	– –
5	Эластичность пленки при изгибе, мм, не более	1						1	1
6	Стойкость пленки к статическому воздействию, не менее: 3% раствора NaCl при 20±0,5 <sup>0</sup> С, ч	3	5	5	7	5	5	3	–
	10% раствора HCl при 20±2 <sup>0</sup> С, ч	Соответствует						–	4
	воды при 20±0,5 <sup>0</sup> С, ч	Наблюдается полное соответствие						48	24
10	Адгезия, баллы, не более	1						1	–
11	Блеск, mA	0,47	0,3	0,726	0,145	0,68	0,748	–	–
12	Адгезия по ISO 4624, кгс/см <sup>2</sup>	7,5	17,5	12,5	5,5	14	5,5	–	–
	-после водонасыщения	11	7,5	11	7,5	4,5	3,5	–	–
	-после замораживания	12,5	4,5	8,5	13	6	7,5	–	–
13	Адгезия, баллы - после водонасыщения - после замораживания	1						–	–

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кемалов А.Ф. Научно-практические основы физико-химической механики и статистического анализа дисперсных систем: Учебное пособие / Кемалов А.Ф., Кемалов Р.А. – Казань: КГТУ, 2008. – 472 с.
- [2] Кемалов Р.А. Пигментирование битум-полимерного лакокрасочного материала порошком окатышей (статья) / Кемалов Р.А., Кемалов А.Ф., Степин С.Н., Дияров И.Н. // Наука и технология углеводородов. – 2003. – №2. – С. 65-67.
- [3] Кемалов Р.А. Улучшение свойств лакового специального битума на стадии его получения (статья) / Кемалов Р.А., Кемалов А.Ф., Ганиева Т.Ф., Фахрутдинов Р.З. // Химия технологии топлив и масел. – 2003. – № 5. – С. 15-17.
- [4] Кемалов Р.А. Пигментированные битумные изоляционные лакокрасочные материалы: состав, свойства, применение (статья) / Кемалов Р.А., Кемалов А.Ф. // Экспозиция Нефть Газ. – 6/Н (80) ноябрь 2008 г.
- [5] Кемалов Р.А. Битумные лакокрасочные материалы. Оценка технологических свойств: учебно-методическое пособие / Кемалов Р.А., Кемалов А.Ф. – Казань: Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2008. – 112 с.
- [6] Кемалов Р.А. Научно-практические аспекты процессов коррозии и способов защиты: монография / Кемалов Р.А., Кемалов А.Ф. – Казань: Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2008. – 280 с.
- [7] Кемалов Р.А. Битумные лакокрасочные материалы. Определение некоторых физико-механических и декоративных свойств покрытий: учебно- методическое пособие / Кемалов Р.А., Кемалов А.Ф. – Казань.: Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2008. – 112 с.
- [8] Кемалов Р.А. Битумные лакокрасочные материалы. Определение некоторых физико-механических и декоративных свойств покрытий: учебное пособие / Кемалов Р.А., Кемалов А.Ф. – Казань: Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2008. – 180 с.
- [9] Кемалов Р.А. Защитные лакокрасочные покрытия на основе продуктов нефтехимического сырья: учебное пособие / Кемалов Р.А., Кемалов А.Ф. – Казан.: Изд-во Казан.гос. технол. ун-та, 2008. – 178 с.
- [10] Кемалов А.Ф. Производство окисленных битумов: учебное пособие / Кемалов А.Ф., Кемалов Р.А. – Казань.: Изд-во Казан.гос. технол. ун-та, 2008. – 120 с.
- [11] Кемалов А.Ф. Исследование дисперсного состояния полимерных систем с целью получения высококачественных битум-полимерных материалов / Кемалов А. Ф., Кемалов Р. А. // Химия технология топлив и масел. – 2012. – № 5. – С. 3-7.
- [12] Кемалов А.Ф. Пигментированные битумные изоляционные материалы на основе природных битумов / Кемалов А. Ф., Кемалов Р. А. // Экспозиция Нефть Газ. – 2012. – № 5(23) Сентябрь. – С. 95-99.
- [13] Кемалов Р.А. Научно-практические аспекты получения битумно- эмульсионных мастик / Кемалов Р.А., Кемалов А.Ф. // Технологии нефти и газа. – 2012. – № 6. – С. 31-39.

REFERENCES

- [1] Kemalov A.F. Nauchno-prakticheskiye osnovy fiziko-khimicheskoy mekhaniki i statisticheskogo analiza dispersnykh sistem: Uchebnoye posobiye / Kemalov A.F., Kemalov R.A. KGTU. Kazan, 2008. 472 p.
- [2] Kemalov R.A. Pigmentirovaniye bitum-polimernogo lakokrasochnoogo materiala poroshkom okatyshey (stat'ya) / Kemalov R.A., Kemalov A.F., Stepin S.N., Diyarov I.N. Nauka i tekhnologiya uglevodorodov. 2003. N 2. P. 65-67.
- [3] Kemalov R.A. Uluchsheniye svoystv lakovogo spetsial'nogo bituma na stadii yego polucheniya (stat'ya) / Kemalov R.A., Kemalov A.F., Ganiyeva T.F., Fakhrutdinov R.Z. Khimiya tekhnologii topliv i masel. 2003. N 5. P. 15-17.
- [4] Kemalov R.A. Pigmentirovannyye bitumnyye izolyatsionnyye lakokrasochnyye materialy: sostav, svoystva, primeneniye (stat'ya) / Kemalov R.A., Kemalov A.F. Ekspozitsiya Neft' Gaz, 6/N (80) noyabr' 2008.
- [5] Kemalov R.A. Bitumnyye lakokrasochnyye materialy. Otsenka tekhnologicheskikh svoystv: uchebno-metodicheskoye posobiye / Kemalov R.A., Kemalov A.F. Kazan: Izd-vo Kazan. gos. tekhnol. un-ta, 2008. 112 p.
- [6] Kemalov R.A. Nauchno-prakticheskiye aspekty protsessov korrozii i sposobov zashchity: monografiya / Kemalov R.A., Kemalov A.F. Kazan: Izd-vo Kazan. gos. tekhnol. un-ta, 2008. 280 p.
- [7] Kemalov R.A. Bitumnyye lakokrasochnyye materialy. Opredeleniye nekoto-rykh fiziko-mekhanicheskikh i dekorativnykh svoystv pokrytiy: uchebno- metodicheskoye posobiye / Kemalov R.A., Kemalov A.F. Kazan: Izd-vo Kazan. gos. tekhnol. un-ta, 2008. 112 p.
- [8] Kemalov R.A. Bitumnyye lakokrasochnyye materialy. Opredeleniye nekoto-rykh fiziko-mekhanicheskikh i dekorativnykh svoystv pokrytiy: uchebnoye posobiye / Kemalov R.A., Kemalov A.F. Kazan: Izd-vo Kazan. gos. tekhnol. un-ta, 2008. 180 p.
- [9] Kemalov R.A. Zashchitnyye lakokrasochnyye pokrytiya na osnove produktov neftekhimicheskogo syr'ya: uchebnoye posobiye / Kemalov R.A., Kemalov A.F. Kazan: Izd-vo Kazan.gos. tekhnol. un-ta, 2008. 178 p.
- [10] Kemalov A.F. Proizvodstvo okislennykh bitumov: uchebnoye posobiye / Kemalov A.F., Kemalov R.A. Kazan: Izd-vo Kazan.gos. tekhnol. un-ta, 2008. 120 p.
- [11] Kemalov A.F. Issledovaniye dispersnogo sostoyaniya polimernykh sistem s tsel'yu polucheniya vysokokachestvennykh bitum-polimernykh materialov / Kemalov A. F., Kemalov R. A. // Khimiya tekhnologiya topliv i masel. 2012. N 5. P. 3-7.
- [12] Kemalov A.F. Pigmentirovannyye bitumnyye izolyatsionnyye materialy na osnove prirodnykh bitumov / Kemalov A.F., Kemalov R. A. // Ekspozitsiya Neft' Gaz. 2012. N 5(23) Sentyabr'. P. 95-99.
- [13] Kemalov R.A. Nauchno- prakticheskiye aspekty polucheniya bitumno- emul'-sionnykh mastik / Kemalov R.A., Kemalov A.F. // Tekhnologii nefi i gaza. 2012. N 6. P. 31-39.



Ж. У. Мырхалыков<sup>1</sup>, Т. С. Бажиров<sup>1</sup>, А. Ф. Кемалов<sup>2</sup>, Р. А. Кемалов<sup>2</sup>,  
К. К. Сырманова<sup>1</sup>, Е. Т. Боташев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент, Қазақстан,

<sup>2</sup>Казан федералдык университеті, Казан, Ресей

## БИТУМДЫ ОҚШАУЛАҒЫШ МАТЕРИАЛДАРЫН КЕШЕНДІ ТҮРЛЕНДІРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ

**Аннотация.** Заманауи мұнай өңдеу өндірістерін жетілдірудің стратегиялық бағыты мұнайды қайта өңдеуді ары қарай тереңдетумен негізделеді. Осы тұрғыда мұнай дисперстік жүйелерінің (МДЖ) /1/, физика-химиялық механикасы бойынша жаңа ғылыми жетістіктерді есепке ала отырып, олардан берілген қасиеттегі арнайы битумдарды және солардың негізінде лак және бояу материалдарын алу мақсатында, ауыр мұнай қалдықтарын қайта өңдеудің қарқынды технологияларын жасау маңызды тапсырма болып табылады.

Битумдардың негізгі құндылығына лак және бояу материалдарының (ЛБМ) /1-4/ қабыршақ түзуші негіздерін, сулы ортаға қатынасы бойынша олардың жоғары оқшаулау қасиеттерін, сондай ақ арзандығы және отандық сарқылмайтын шикізат базасы болуын жатқызады. Битум негізіндегі жабындардың кеңінен қолданысын ұстап тұру себептеріне, олардың төмен физика-механикалық қасиеттері, атап айтқанда беріктігі, адгезиялығы және төзімділігі жатқызылады. Бұл шикізаттың химиялық құрамының ерекшелігімен, ауыр мұнай қалдықтарының тотығу процесінің технологиялық жағдайларымен байланысты болып келеді /10/.

Арнайы битумдарды өндіруде шикізат ретінде құрамында парафинді көмір сутектер минималды етіп, нафтен хош иісті негіздегі ауыр мұнайлардың гудрондарын қолданған дұрыс, олардың қоры тіптен аз.

Осыған байланысты шайырлы-парафинді негіздегі ауыр мұнай қалдықтарын қатыстыру есебінен битум өндірісінің шикізат базасын кеңейту тақырыптың маңыздылығын растайды.

**Түйін сөздер:** ауыр мұнай қалдықтары (АМҚ), мұнай дисперстік жүйелері (МДЖ), қабыршақ түзуші заттар, мұнай химиясы, ермопластикалық шайырлар (ГПШ), пигменттер, асфальтендер, жабындардың физика-механикалық қасиеттері.

### Сведения об авторах:

Мырхалыков Жумахан Ушкempiрович – профессор, доктор технических наук, ректор Южно-Казахстанского государственного университета им. М. Ауезова,

Бажиров Тынлыбек Сайфутдинович – доцент, кандидат технических наук, Начальник отдела подготовки и сопровождения проектов, Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауезова, [tyulybek.bazhirov@gmail.com](mailto:tyulybek.bazhirov@gmail.com)

Сырманова Куляш Керимбаевна – профессор, доктор технических наук, профессор кафедры «Нефтепереработка и нефтехимия», Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауезова

Боташев Ерсултан – докторант. спец. ХТОВ, кафедра «Нефтепереработка и нефтехимия», Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауезова

Кемалов Алим Фейзрахманович – профессор, доктор технических наук, Заведующий кафедрой «Высоковязкие нефти и природные битумы», Казанский Федеральный университет, [kemalov@mail.ru](mailto:kemalov@mail.ru)

Кемалов Руслан Алимович – доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры «Высоковязкие нефти и природные битумы», Казанский Федеральный университет, [kemalov@mail.ru](mailto:kemalov@mail.ru)

**NEWS**

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES**

ISSN 2224-5278

Volume 4, Number 424 (2017), 258 – 269

**T. K. Salikhov**

L. N. Gumilyov Eurasian national university, Astana, Kazakhstan.

E-mail: salikhov\_tk@enu.kz

**THE FIELD STUDIES AND MONITORING SOIL  
ON THE TERRITORY OF THE PLANNED STATE NATURE  
RESERVE "BOKEYORDA" WEST KAZAKHSTAN REGION**

**Abstract.** Preserving and increase in fertility of soils is the main part of a common problem of rational use of land resources, increase in productivity and improvement of soil ecology of landscapes. As a result of researches of geoecosystems of the projectible state natural wildlife reserve of Bokeyord of the West Kazakhstan region the analysis of morphological features of soils, biological and chemical properties of soils is carried out: content of a humus, available elements, food inventories, absorption of the basis and content of ions in a water extract. On the basis of the ecosystem analysis and GIS-technology wildlife reserve borders are determined, zoning of functional sites is carried out and the card of a soil cover is constituted. The analysis of impact of natural and anthropogenous factors on a soil and vegetable cover is made. The recommendations submitted on recovery and preserving a soil cover are made.

**Key words:** particle size distribution and properties of the soil, content of a humus and inventories of batteries, content of the absorbed bases and ions in a water extract.

УДК 910.3:631.4 (574)

**Т. К. Салихов**

Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан

**ПОЛЕВЫЕ И МОНИТОРИНГОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ  
НА ТЕРРИТОРИИ ПРОЕКТИРУЕМОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ПРИРОДНОГО РЕЗЕРВАТА «БОКЕЙОРДА»  
ЗАПАДНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ**

**Аннотация.** В результате исследований на территории проектируемого государственного природного резервата «Бокейорда» Западно-Казакстанской области определены некоторые физические, биологических и химических показателей плодородия почвенного покрова геоекосистем: морфогенетические свойства, гранулометрический состав, содержание гумуса, запасы элементов питания, поглощенные основания и содержание ионов в водной вытяжке. На основе экосистемного анализа и ГИС-технологии составлена карта почвенного покрова. Проведен анализ воздействия естественных и антропогенных факторов на почвенный покров и даны рекомендации, направленные на восстановление и сохранение почвенного покрова.

**Ключевые слова:** плодородие почвы, гранулометрический состав и свойства почвы, содержание гумуса и запасы элементов питания, содержание поглощенных оснований и ионов в водной вытяжке.

Сохранение и повышение плодородия почв является основной частью общей проблемы рационального использования земельных ресурсов, увеличение продуктивности и улучшение почвенной экологии ландшафтов.

Повышение эффективности использования земель сельскохозяйственного назначения путем сохранения и повышения плодородия почв является одной из приоритетных задач земледелия, решение которой имеет ключевое значение в обеспечении устойчивого развития аграрного сектора экономики и продовольственной безопасности страны.

Земельный кодекс Республики Казахстан [1], обязывает проводить мониторинг земель и научный учет почв в соответствии с государственным земельным кадастром. Задачи государственного контроля состоят в обеспечении правил ведения земельного кадастра и землеустройства; выполнения мероприятий по сохранению и воспроизводству плодородия почв, рационального использования и охране земель.

По данным кафедры растениеводства и земледелия [2], на фоне длительного использования соломы в качестве органического удобрения в зернопаровых севооборотах, с включением озимых и зернобобовых культур, обеспечивается простое воспроизводство почвенного плодородия, а при внесении навоза и возделывании сидеральных культур – его расширенное воспроизводство.

В настоящее время в земледелии стало проблематично внесение на поле навоза и возделывание сидеральных культур. Поэтому расширение посевов многолетних трав на выводных полях полевых севооборотов позволяет существенно снизить потери гумуса, что при достаточной площади трав стабилизирует плодородие почвы.

В сравнительном опыте, проведенном на Уральской сельскохозяйственной опытной станции [3], содержание гумуса на старопахотных землях составило в слое 0-20 см – 2,5%, в слое 20-40 см – 2,16%, в пятипольном севообороте после второй ротации содержание гумуса составило 2,82 и 2,76%, а на выводном поле с житняком (12 лет) гумус в почве имел 3,07 и 2,78% соответственно.

Как известно, в процессе интенсивного воздействия человека на почву ухудшаются ее водно-физические свойства, уменьшается содержание важнейшей составной части почвы – гумуса. С количеством и качеством гумуса тесно связаны основные морфологические признаки почв, водный, воздушный и тепловой режимы, важнейшие физические и физико-химические свойства, содержание и формы соединений в почвах основных элементов питания растений, биохимические и микробиологические показатели [4, 5].

В настоящее время система особо охраняемых природных территорий Западно-Казахстанской области представлена 3-мя государственными природными заказниками республиканского значения и 7 ООПТ областного значения, суммарная площадь которых составляет 188,7 тыс.га или 1% от всей площади области. Вместе с тем, в области отсутствуют ООПТ со строгим режимом охраны и со статусом юридического лица [6, 7].

Поэтому, изучение природных факторов почвообразования и производственной деятельности хозяйства; биологических, химических и физических свойств почвы, коррелирующих с урожайностью культур позволяют на количественном уровне оценивать контрастность, сложность и неоднородность почвенного покрова конкретного массива, что позволит объективно решать вопрос о пригодности использования почв в хозяйственных целях и определить кадастровую стоимость земельного участка.

Цель наших исследований – изучение современного состояния биологических, физических и химических свойств почв геозкосистем в Волго-Уральском междуречье для разработки научного обоснования для создания государственного природного резервата «Бокейорда» Западно-Казахстанской области для сохранения мест обитания редких и эндемичных видов биоразнообразия. Комитетом лесного хозяйства и животного мира Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан принята Программа по развитию научно-исследовательских работ по сохранению биологического разнообразия, в рамках которой предусмотрены работы по созданию государственного природного резервата «Бокейорда». Исследования выполнялись в рамках проекта Правительства Республики Казахстан и Глобального экологического фонда Программой развития Организации Объединенных Наций (ПРООН) «Сохранение и устойчивое управление степными экосистемами», направленного на увеличение степных экосистем.

В связи с этим в исследованиях на западе Западно-Казахстанской области, географически в бассейне рек Малого Узень и Ащыозек, пространстве Волго-Уральского междуречья, в северо-западной части Прикаспийской низменности в пределах территории Жанибекского, Казталовского и Бокейординского районов на полого-плоской и слабоволнистой равнине были изучены морфо-

логические признаки почв, биологические, химические и физические свойства почв геоэкосистем по общепринятым методикам [7-14]. Произведена закладка мониторинговых площадок с нанесением их данных на топооснову и зафиксированы GPS данные по площадкам. Проведено картирование почвенного покрова.

Основопологающим принципом для выделения ценных участков в проектировании ООПТ должен быть экосистемный подход, основанный на комплексной оценке экологического состояния природных компонентов проектной территории – экосистем, растительных сообществ, почвы, животного мира и других компонентов природной среды с использованием данных дистанционного зондирования и ГИС-технологии.

В связи с частым чередованием условий почвообразования, почвы территории отличаются большой пестротой. Однако в пределах отдельно взятых частей территории проектируемого государственного природного резервата (ГПР) «Бокейорда» Западно-Казахстанской области на водораздельных пространствах отмечается выраженное преобладание зональных типов почв – каштановых, светло-каштановых и серо-бурых под типчачковыми и житняково-типчачковыми растительными группировками. Почвообразующими породами на севере ГПР «Бокейорда» являются средние суглинки с переслоями тяжелых суглинков, на юге преобладают хвалынские глины и тяжелые суглинки, идущие до грунтовых вод. Вокруг озера Аралсор почвообразующими породами являются, в основном, супесчаные и песчаные отложения, местами средние суглинки с прослоями легкого суглинка.

Полупустынная зона как переходная, представлена в почвенно-растительном покрове в основном светло-каштановыми и серо-бурыми зональными почвами под полынно-типчачковыми растительными группировками с участием ковыля-волосатика. В соровых понижениях распространены галофитные растительные группировки, а вокруг озерных котловин встречаются тростниковые заросли. На юге в основном, в почвенно-растительном покрове преобладают барханно-бугристые пески с псаммофитными и кустарниковыми растительными сообществами, также пустынно-житняковые степи на комплексных почвах.

Почвы сформировались в зоне резко засушливых жарких пустынных степей. Характерная особенность климата зоны – резкая континентальность и засушливость. Растительный покров отличается бедностью видового состава, изреженностью и низкорослостью.

Почвенный покров ГПР «Бокейорда» отличается разнообразием и комплексностью. Последние обусловлены:

- а) различными условиями увлажнения, связанными с элементом рельефа;
- б) бессточностью территории и ее слабой дренированностью;
- в) неравномерным первоначальным распределением солей в грунте;
- г) выносом землероями на поверхность засоленного грунта;
- д) близким залеганием солевого горизонта, пятнистостью распределения растительности и засушливости климата.

В настоящем систематическом описании выделены почвенные подразделения, которые были встречены нами на территории исследуемого района.

Подробные диагностические показатели даны для наиболее распространенных почвенных разновидностей в пределах проектируемого ГПР «Бокейорда» Западно-Казахстанской области. Указаны характерные морфологические генетические признаки почвенного покрова, основанные на имеющихся данных полевых исследований и камеральной обработки (рисунок 1).

Почвенные лабораторные анализы определены в аккредитованном Испытательном центре РГКП «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана».

На исследуемой территории в структуре почвенного покрова формируются каштановые, светло-каштановые и серо-бурые почвы. Они формируются в условиях сухостепной и полупустынной зонах, при непромывном типе водного режима, под изеново-мятликовым, разнотравно-житняково-таволговым, чернополынно-изеневым, разнотравно-чагыровым сосновым бором и мятликово-белополынно-кокпековым растительными сообществами, на лёссовидных суглинках.

На обследуемой территории были заложены мониторинговые площадки. На площадках методом конверта заложены точки отбора почвенных образцов, ниже приводится морфологическое генетическое описание почвенных разрезов:

**Почвенный разрез № 1.** Характеристика почвы точки Т-1. (016): координаты N 44° 47.481' E 047° 45.266'; изенново-мятликовое растительное сообщество; междуречная слабоволнистая равнина у р. Ащыозек, в 1 км от зимовки Ащыозек, 21 м над уровнем моря; микроповышение; проективное покрытие – 45-50% (таблицы 1–3).

*Описание морфогенетических признаков почвенного разреза.*

А 0-12 см – светло-серый, сухой, легкоглинистая, крупнопылевато-иловатая, рыхлый, пронизан корнями, переход ясный.

В<sub>1</sub> 12-32 см – темно-бурый, сухой, легкоглинистая, крупнопылевато-иловатая, на поверхности призмочек и комков выражена глянцевитость, трещиноватый, пористый, переход постепенный.

В<sub>2</sub> 32-52 см – светло-бурый, сухой, легкоглинистая, крупнопылевато-иловатая, очень плотный, пористый, переход ясный.

С 52-150 см – палевый с буроватым оттенком, сухой, крупнопылевато-иловатая, легкоглинистая, трещиноватый, очень плотный, скопления карбонатов почти по всему горизонту. Почвообразующая порода с 130 см включения ракушечника, палевая, влажность почвы свежая, к низу порода становится влажной, глыбистая структура, пористая.

**Почвенный разрез № 2.** Характеристика почвы точки Т-4. (030): координаты N 49° 48.758' E 047° 43.693'; разнотравно-житняково-таволговое растительное сообщество; междуречная слабоволнистая равнина в 2,9 км к югу от заброшенной зимовки Копа, 28 м над уровнем моря; западина; проективное покрытие – 75-80% (таблицы 1–3).

*Описание морфогенетических признаков почвенного разреза.*

А 0-10 см – серый с коричневым оттенком, сухой, иловато-крупнопылеватая, тяжелосуглинистый, с признаками слоистости, рыхлый, пористый, пронизан корнями, переход ясный.

В<sub>1</sub> 10-32 см – более темной окраски, чем горизонт А, сухой, тяжелосуглинистый, иловато-крупнопылеватая, уплотнен, пористый, пронизан корнями, переход постепенный.

В<sub>2</sub> 32-60 см – бурый, сухой, тяжелосуглинистый, иловато-крупнопылеватая, плотнее горизонта В<sub>1</sub>, пористый, заметны корни растений.

С 60-140 см – светло-бурый с белесым оттенком, сухой, тяжелосуглинистый, очень плотный, пористый, иловато-крупнопылеватая обильные выделения карбонатов в виде белоглазок. Почвообразующая порода палевая, тяжелосуглинистая, иловато-крупнопылеватая, уплотненная, пористая.

**Почвенный разрез № 3.** Характеристика почвы точки Т-8. (038): координаты N 49° 23.660' E 046° 48.481'; чернопопынно-изенное растительное сообщество; эталонный участок комплексной степи на территории Жаныбекского стационара, равнина 34 м над уровнем моря; микроповышение; проективное покрытие – 40-55% (таблицы 1–3).

Таблица 1 – Гранулометрический состав плодородия почвенного покрова геоэкосистем

№ почвенного разреза	Горизонт почвы	Размер механических элементов, мм							Разновидность почвы
		1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	< 0,001	<0,01	
001 – Акоба (зимовка Ащыозек)	А	1,21	10,96	27,17	15,36	17,93	27,36	60,65	Легкоглинистая крупнопылевато-иловатая
	В	0,59	8,61	18,95	12,59	19,50	39,76	71,85	
	С	1,75	11,63	14,77	15,71	12,61	43,53	71,85	
002 – Тегисшил (зим. Копа)	А	0,86	12,50	38,25	12,71	10,81	24,87	48,39	Тяжелосуглинистая иловато-крупнопылеватая
	В	0,37	13,95	30,44	10,44	13,30	31,50	55,24	
	С	0,56	13,57	42,23	8,36	12,83	22,44	43,64	
004 – Акоба (летовка Акколь)	А	2,24	11,63	30,68	20,32	13,18	21,95	55,45	Тяжелосуглинистая иловато-крупнопылеватая
	В	0,37	13,83	22,48	13,79	11,51	38,03	63,32	
	С	0,20	10,24	37,17	9,79	8,57	34,03	52,39	
005 – Куйгенкол (Курсай)	А	0,57	12,36	39,94	9,96	13,71	23,46	47,12	Тяжелосуглинистая иловато-крупнопылеватая
	В	0,83	10,98	36,39	11,61	14,99	25,19	51,80	
	С	0,17	12,92	39,13	10,16	9,14	28,48	47,78	
006 – Борли (у озера Аралсор)	А	1,55	38,11	36,27	5,51	4,81	13,75	24,07	Легкосуглинистая крупнопылевато-мелкопесчанная
	В	0,52	14,58	56,39	4,35	5,96	18,22	28,52	
	С	0,42	19,08	46,29	2,90	8,26	23,05	34,21	

*Описание морфогенетических признаков почвенного разреза.*

А<sub>0</sub> 0-6 см – серовато-палевый, сухой, средний суглинок, плитчатый, непрочный, твердоватый, густо переплетен конями, переход ясный.

В<sub>1</sub> 6-29 см – темно-коричневый с сероватым оттенком, призматическо-ореховатый, сухой, среднесуглинистый, вскипает с 16 см, густо пронизан корнями, тонкопористый, переход ясный.

В<sub>3</sub> 73-100 см – буроватый с большим желтым оттенком, неясно глыбистый, прочный, слаболипкий, среднесуглинистый, с обилием гипсовых прожилок, переход ясный.

ВС 100-160 см – желтовато-бурый, тяжелосуглинистый, слаболипкий, уплотненный, бурно вскипает от соляной кислоты, с гипсовыми прожилками, встречаются песчаные прослойки с косой слоистостью, корней нет, единично.

**Почвенный разрез № 4.** Характеристика почвы точки Т-10. (041): координаты N 49° 34.221' E 047° 24.681'; разнотравно-тырсово-таволговое растительное сообщество; равнина с выраженным микрорельефом в 12 км от пос. Акоба и в 2 км к югу от летовки Акколь, 37 м над уровнем моря; западина; проективное покрытие – 90-95% (таблицы 1–3).

Таблица 2 – Химические показатели плодородия почвенного покрова геоэкосистем

№ почвенного разреза	Горизонт почвы	Гумус, %	Общий азот, %	Карбонаты, %	рН водной вытяжки	Обменные основания, мг экв./100 г		Емкость катионного обмена почв, мг экв./100 г
						Са	Mg	
001 – Акоба (зимовка Ащыозек)	А	3,16	0,15	0,0	8,05	22,16	3,96	14,20
	В	1,12	0,08	6,0	8,48	20,00	3,98	24,98
	С	0,68	0,05	6,0	8,38	18,10	4,00	27,40
002 – Тегисшил (зим. Копа)	А	2,84	0,26	0,0	6,81	16,80	1,32	11,22
	В	1,59	0,10	0,9	7,85	16,03	2,01	13,18
	С	0,75	0,03	5,4	8,67	15,68	2,56	20,48
004 – Акоба (летовка Акколь)	А	3,24	0,20	0,8	7,82	21,20	3,72	11,50
	В	1,16	0,14	6,3	8,62	22,00	4,10	24,00
	С	0,54	0,08	4,5	8,62	21,60	3,48	24,64
005 – Куйгенкол (Курсай)	А	2,30	0,32	0,8	7,85	21,48	2,98	12,02
	В	1,56	0,08	6,2	8,68	20,12	2,16	22,40
	С	0,59	0,10	5,1	8,50	20,22	2,20	22,08
006 – Борли (у озера Аралсор)	А	1,58	0,22	1,1	8,58	16,40	0,24	14,60
	В	0,98	0,14	2,7	8,64	15,76	4,44	17,12
	С	0,71	0,10	4,3	9,13	15,80	3,48	18,80

*Описание морфогенетических признаков почвенного разреза.*

А<sub>д</sub> 0-3 см – дерновый слой.

А<sub>1</sub> 3-9 см – серовато-каштановый, тяжелосуглинистая иловато-крупнопылеватая пористый, слабо уплотнен, пронизан корнями, переход ясный.

В<sub>1</sub> 9-30 см – темно-серый с буроватым оттенком, сухой, несколько тяжелосуглинистая иловато-крупнопылеватая, заметно трещиноватый, заметны корни растений.

В<sub>2</sub> 30-68 см – светлорусый, сухой, тяжелосуглинистая иловато-крупнопылеватая, плотный, тонкопористый, слабо трещиноватый, заметны корни растений.

С 68-157 см – светлее предыдущего, сухой, тяжелосуглинистая иловато-крупнопылеватая. Почвообразующая порода (100-157 см) палевая, свежая, суглинистая, глыбисто-комковатая.

**Почвенный разрез № 5.** Характеристика почвы точки Т-12. (055): координаты N 49° 19.651' E 047° 46.468; мятликово-белопольное растительное сообщество; равнина с выраженным микрорельефом в 4,9 км к югу от пос. Курсай и в 2 км от автомобильной дороги, 32 м над уровнем моря; микроплакор; проективное покрытие – 60-65% (таблицы 1–3).

Таблица 3 – Анализ водной вытяжки почвенного покрова геоэкосистем

№ почвенного разреза	Горизонт почвы	Щелочность		Cl	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Σ солей, %
		CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>						
001 – Акоба (зимовка Ащыозек)	A	–	0,48 0,029	0,42 0,015	следы	0,58 0,012	0,23 0,003	0,10 0,002	0,061
	B	–	0,69 0,042	1,29 0,046	0,42 0,020	0,58 0,012	0,20 0,002	1,62 0,037	0,159
	C	–	0,33 0,020	11,59 0,411	13,43 0,645	7,18 0,144	4,90 0,059	19,40 0,446	1,725
002 – Тегисшил (зим. Копа)	A	–	0,36 0,022	0,39 0,014	0,69 0,033	0,75 0,015	0,50 0,006	0,19 0,004	0,094
	B	–	0,27 0,016	0,31 0,011	0,07 0,003	0,33 0,007	0,20 0,002	0,12 0,003	0,042
	C	–	0,47 0,029	1,40 0,050	0,23 0,011	0,78 0,016	0,48 0,006	0,84 0,019	0,131
004 – Акоба (летовка Акколь)	A	–	0,59 0,036	0,30 0,010	следы	0,55 0,011	0,25 0,003	0,09 0,002	0,062
	B	–	0,77 0,049	0,43 0,015	0,34 0,016	0,43 0,009	0,30 0,004	0,81 0,019	0,112
	C	–	0,21 0,013	0,26 0,009	0,04 0,002	0,30 0,006	0,15 0,002	0,06 0,001	0,033
005 – Куйгенкол (Курсай)	A	–	0,53 0,032	0,34 0,012	0,24 0,012	0,55 0,011	0,20 0,002	0,36 0,008	0,077
	B	–	0,15 0,009	0,36 0,013	следы	0,20 0,004	0,18 0,002	0,06 0,001	0,031
	C	–	0,40 0,024	16,1 0,571	7,53 0,361	3,30 0,066	2,43 0,029	18,30 0,420	1,471
006 – Борли (у озера Аралсор)	A	–	0,25 0,015	0,37 0,013	0,35 0,017	0,30 0,006	0,25 0,003	0,42 0,010	0,064
	B	–	0,14 0,009	0,43 0,015	0,48 0,023	0,60 0,012	0,20 0,002	0,25 0,006	0,067
	C	–	0,50 0,031	0,56 0,020	0,05 0,002	0,048 0,010	0,43 0,005	0,20 0,005	0,073

*Описание морфогенетических признаков почвенного разреза.*

A 0-3 см – дерновый слой.

A 3-14 см – серый, сухой, иловато-крупнопылевая, рыхлый тонкопористый, тяжелосуглинистый, пронизан корнями, переход ясный.

B<sub>1</sub> 11-32 см – серый с буроватым оттенком, сухой, тяжелый суглинок, иловато-крупнопылевая плотный, трещиноватый, масса крупных пор, встречаются корни растений.

B<sub>2</sub> 32-67 см – светлобурый, сухой, тяжелый суглинок, иловато-крупнопылевая, плотный, заметна трещиноватость, пористый.

C 67-142 см – светлобурый с палевым оттенком, сухой, тяжелый суглинок, очень плотный, включения карбонатных солей в виде белоглазки.

**Почвенный разрез № 6.** Характеристика почвы точки Т-14. (062): координаты N 49° 02.417' E 048° 29.762'; мятликово-белопольно-кокпековое растительное сообщество; равнина с выраженным микрорельефом в 20 км к югу от пос. Борли у озера Аралсор, 16 м над уровнем моря; микроплакор; проективное покрытие – 45-55% (таблицы 1–3).

*Описание морфогенетических признаков почвенного разреза.*

A 0-10 см – коричнево-серый с буроватым оттенком, свежий, слабоуплотненный, корешковатый, задерненный, крупнопылевато-мелкопесчанная, легкосуглинистая, переход ясный.

B<sub>1</sub> 10-25 см – светло-коричнево-серый с бурый оттенок, сухой, уплотненный, трещиноватый, крупнопылевато-мелкопесчанная, легкосуглинистая, переход постепенный.

B<sub>2</sub> 25-43 см – коричнево-бурый с сероватым оттенком, влажность свежая, плотный, трещиноватая, крупнопылевато-мелкопесчанная, легкосуглинистая, переход ясный.

BC 43-85 см – желтовато-бурый с темными затеками, свежаватая, крупнопылевато-мелкопесчанная, легкосуглинистая, плотный, переход постепенный.

С 85-144 см – буро-желтый, свежаватая, очень плотный, трещиноватый, крупнопылевато-мелкопесчанная, суглинистая

В результате исследования территории выделены следующие таксономические единицы почв:

*Каштановые суглинистые почвы.* Перед описанием разновидностей следует отметить, что в основу характеристики нижеописываемых почв положены морфологические признаки, физические, биологические и химические свойства, мощность гумусового горизонта, глубина вскипания от соляной кислоты, гранулометрический состав, количество гумуса, содержание подвижных элементов. При описании почв под горизонтом «А» имеется в виду горизонт с равномерной окраской, обильно пронизан корнями растений (рисунок).

Горизонт «В» обычно обозначается горизонт интенсивно окрашенный, с хорошо выраженной структурой, часто в какой-то степени уплотнен. «ВС» - переходный горизонт с преобладанием признаков материнской породы, но еще с наличием признаков гумуса. «С» - горизонт видимого скопления карбонатов, гипса и других солей, материнская порода.

Сформировались они на полого-плоской и широко-волнистой равнине с хорошо выраженным микрорельефом в виде сусликовин и микрозападин. Грунтовые воды залегают глубже 10 м. Почвообразующими породами служат желто-бурые средние и тяжелые суглинки.

Остановимся на физико-химической характеристике каштановых средне-тяжелосуглинистых почв.

По гранулометрическому составу это иловато-пылеватые и песчано-пылеватые средние и тяжелые суглинки. Преобладает фракция крупной пыли. Фракция пыли определяет сильную связность гранулометрических частиц, плохую воздухо- и водопроницаемость. Гумусовые горизонты содержат малый процент перегноя (2,42-2,47%), равномерно уменьшающийся с глубиной. Самое большое содержание в горизонте «А» почвенном разрезе № 003-Акоба – 3,24%.

Из подвижных форм питания почвы хорошо обеспечены азотом (4,9 мг/100 г), очень плохо фосфором (1,39 мг/100 г почвы). Самое большое содержание азота в горизонте «А» почвенном разрезе № 003-Куйгенколь – 0,32%.

Углекислота карбонатов появляется в верхних слоях породы в количестве, составляющем 0,8-6-3% легкорастворимыми солями профиль не засолен. В составе поглощенных оснований преобладает кальций (90-92% от суммы обменных оснований).

Относительное содержание натрия очень низкое, очевидно, солонцеватость данных остаточная, которая хорошо проявляется морфологически и подтверждается данными гранулометрического анализа и величиной рН. Описываемые почвы отличаются очень сильным уплотнением горизонта В, комковато-призмической или комковато-ореховатой структурой, глянецвитостью структурных отделностей, ясно выраженным карбонатно-глазковым слоем, расположенным под гумусовым горизонтом.

*Лугово-каштановые и лугово-светло-каштановые суглинистые почвы* развиты повсеместно на территории ГПР по западинам, залегая в сочетании с зональными почвами или с солонцами. На западинах собирается много снега зимой и талых вод весной. Образование луговых почв связано с дополнительным увлажнением за счет вод поверхностного стока или подпитыванием корнеобитаемого слоя токами пленочно-капиллярной влаги, поднимающейся от залегающих на небольшой глубине (5-7 м) грунтовых вод.

В результате перечисленных причин почвы на пониженных элементах рельефа получают дополнительное увлажнение не только весной, но и летом.

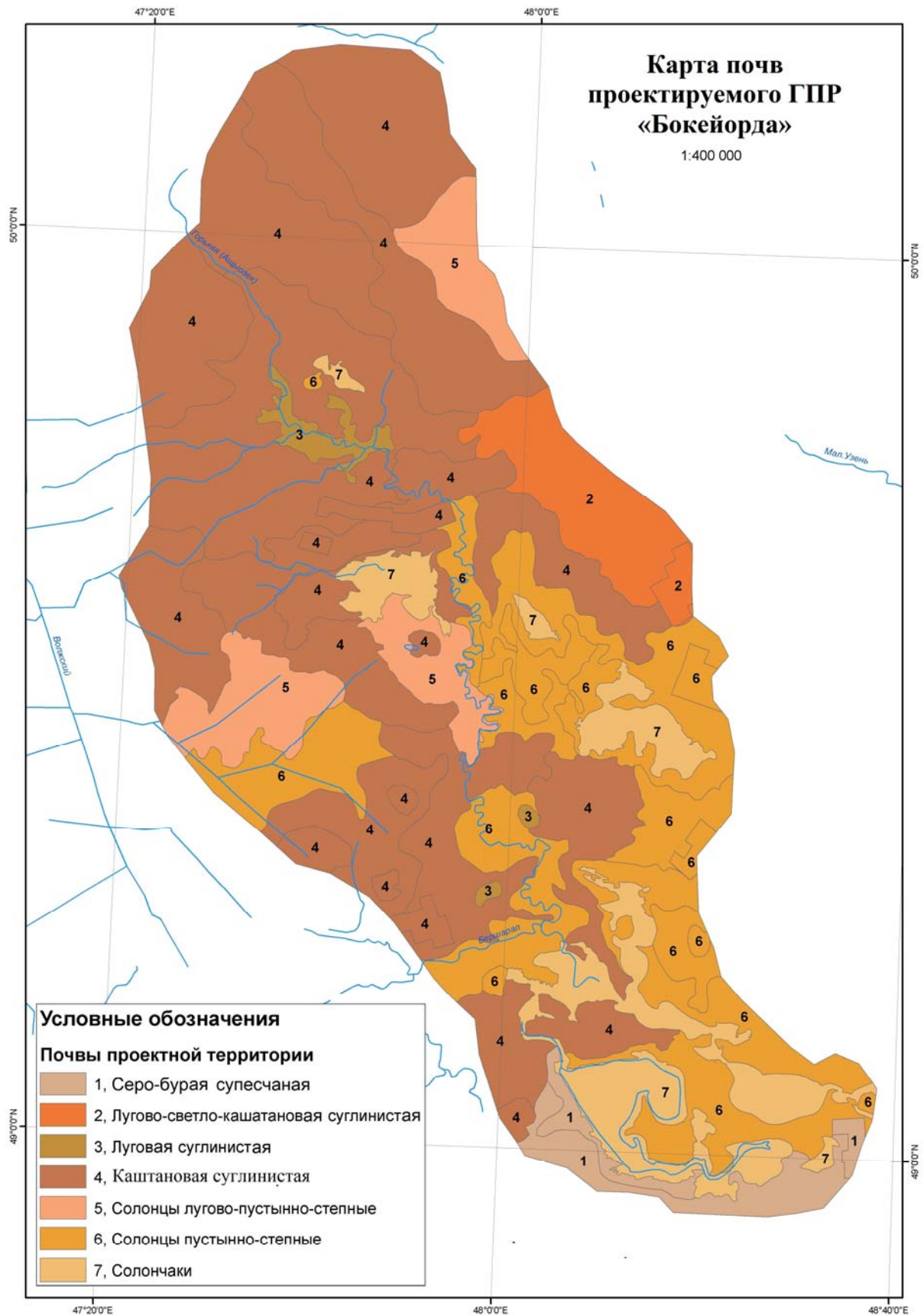
Дополнительное увлажнение содействует развитию более густого травостоя. Растительность развивается пышно, отличается густотой, разнообразием видов.

После отмирания остается много органических остатков, которые в последствии, разлагаясь, превращаются в гумус.

Поэтому у лугово-каштановых и лугово-светло-каштановых почв мощный гумусовый горизонт и много гумуса по сравнению с зональными почвами. Вследствие застаивания воды в нижних частях почвенного профиля появляются ржавые пятна полуторфных окислов.

Морфологическое строение лугово-каштановых и лугово-светло-каштановых почв характеризуется следующими средними данными по хозяйству: мощность гумусового горизонта (А+В) 47 см, темно-серой окраски, комковатой структуры.





Карта почв проектируемого государственного природного резервата «Бокейорда» Западно-Казахстанской области

Выделения карбонатов в виде «белоглазки» и пятен с 62 см. вскипание от соляной кислоты с 50 см. Переход от одного генетического горизонта к другому постепенный по цвету.

Использование лугово-каштановых и лугово-светло-каштановых почв в хозяйстве зависит от условий их залегания. Однородными массивами они встречаются очень редко. Если они сформировались в сочетании с зональными почвами, то они распаханы. Если же в комплексе солонцов больше 30% или лугово-каштановые почвы залегают в глубоких балках, то эти комплексные массивы используются как сенокосы и пастбища.

*Солонцы лугово-пустынно-степные и пустынно-степные.* Образование солонцов может быть связано с первоначальной засоленностью пород или с биологической аккумуляцией солей в верхних горизонтах и по следующей вертикальной дифференциации их по профилю. Следовательно, солонцовому типу почвообразования должно предшествовать засоление.

При преобладании солей натрия происходит вхождение катионов натрия в почвенный поглощающий комплекс. Натрий распыляет почвенные коллоиды. После вхождения натрия в почву соли должны быть вымыты, иначе они будут препятствовать диспергированию коллоидов. При таких условиях почвенные коллоиды приобретают подвижность и передвигаются в глубь по профилю. Причиной их закрепления является механическое поглощение и наличие солей, которые вымылись на эту глубину и способствуют свертыванию и осаждению коллоидов.

В результате такого перераспределения формируется верхний аллювиальный горизонт, объединенный илистой фракцией, и переходный плотный иллювиальный горизонт, обогащенный коллоидами.

Солонцы имеют ясно выраженные горизонты «А» - перегнойно-элювиальный, «В» - иллювиальный (солонцовый),  $S_K$  - карбонатный и солевой. Горизонт А имеет мощность, в среднем по хозяйству, 6 см, листовато-пылеватую структуру, сравнительно рыхлого сложения.

Горизонт «В» имеет бурый или шоколадно-бурый цвет, очень плотный, с хорошо выраженным коллоидным глянцем, призматический. Мощность его в среднем 17 см. Этот горизонт содержит много обменного натрия, обогащен коллоидами и способен диспергироваться. Поэтому он отличается очень плохим водным режимом и физическими свойствами. Во влажном состоянии он очень набухает, становится очень вязким и практически водонепроницаемым. Часто в нижней части этого горизонта наблюдается скопление солей. От соляной кислоты вскипает с 23 см. Почвообразующими породами является желто-бурые засоленные средние или тяжелые суглинки.

Обеспеченность этих почв подвижными элементами питания низкая. Профиль почвы промыт от воднорастворимых солей. Изредка почвообразующие породы засоленные в слабой степени. Тип засоления по анионам сульфатно-хлоридный, по катионам – натриевый. В составе солей преобладают сернокислый натрий и хлористый натрий. Последний является токсичной солью для растений. Для характеристики солонцов данного выдела приводим описание почвы, на выровненном участке.

По глубине залегания солей описываемые солонцы относятся к солончаковым. Тип засоления по анионам хлоридный, по катионам натриевый. В составе солей преобладает хлористый натрий, который является вредной солью для растений. В почвенном поглощающем комплексе преобладают катионы кальция. В переходном горизонте резко увеличивается количество поглощенного натрия.

*Солончаки* формируются на засоленных породах с близким залеганием высокоминерализованных грунтовых вод (2-6 м). Непромывной режим, восходящие токи при сильном испарении приводят к засолению почвенной толщи.

Растительный покров представлен солевывносливыми видами. Расчленение почвенного профиля на генетические горизонты слабое.

Солончаки соровые получили широкое распространение. Они образуются в плоских обширных понижениях, заливаемых в весеннее время водой и представляющих собой соленые озера (сор Аралтобе, Батпак сор и т.д.), которые пересыхают к концу лета, покрываясь с поверхности коркой солей. Вопрос накопления и современного перемещения солей в Прикаспийской низменности хорошо освещен В.А.Ковдой [15].

Высокая концентрация водорастворимых солей подавляет развитие биологических и почвообразовательных процессов. Профиль солончака трудно разделить на генетические горизонты.

Вскипание от соляной кислоты наблюдается с 5-7 см. На поверхности образуется не большая корочка (около 1 см), под которой идет рыхлый, накопленный кристаллами солей горизонта, где прослеживается слабая гумусированность. В верхнем слое почвы содержится 1,31% гумуса. Емкость катионного обмена средняя, и составляет в среднем 19,35 мг-экв на 100 г почвы. Содержание обменного натрия значительное и составляет в среднем, 21,46% от суммы поглощенных на оснований. Содержание солей в верхнем слое почвы колеблется от 0,890 до 1,112%.

Тип засоления по профилю хлоридный. В современном состоянии эти почвы относятся к землям пастбищного значения требующим проведением сложных мероприятий по борьбе с засолением.

*Серо-бурые супесчаные почвы* грядово-бугристые полузакрепленными песками с более изреженным растительным покровом, слабо закрепляющим поверхность почв. Почвенный профиль сформирован еще слабо. Сложение профиля рыхлое.

У солончаков луговых песчаных почвообразующие породы представлены засоленными суглинками и песками. Минерализованные грунтовые воды находятся неглубоко от поверхности 1,5 м. Их уровень заметно колеблется по сезону года и в условиях выпотного режима они обуславливают засоление поверхностных почвенных горизонтов. По гранулометрическому составу песчаные разновидности. Подвижными формами фосфора и калия обеспеченность высокая, в 100 г. Почвы содержатся 7,87 мг  $P_2O_5$  и 112,52 мг  $K_2O$ . Аналогические данные указывают на засоление почв уже в верхнем горизонте, где наблюдается 5,7% солей. Тип засоления хлоридный, степень засоления очень сильная. По профилю содержание солей увеличивается. В современном состоянии участки этих почв относятся к пастбищным условиям низкого качества.

Значительные нарушения почвенно-растительного покрова зачастую необратимые связаны с движением автотранспорта. Дорожная сеть на участках присоединения редкая и приурочена в основном к долинам ручьев и рек. Сеть на участках представлена грунтовыми дорогами сезонной или временной эксплуатации, которые характеризуются неглубоким врезом колеи относительно поверхности и хорошей закрепленностью бровки растительностью; а также дорогами единовременного или непродолжительной эксплуатации, находящимися в стадии самовосстановления растительного и почвенного покрова.

В настоящее время на участках ГПР «Бокейорда» почвенный покров практически не затронут процессами антропогенного воздействия. Однако следует иметь в виду, что особенности формирования почвенного покрова позволяют оценивать их как особый тип природной среды, где динамика экзогенных процессов обуславливает высокую уязвимость геозкосистем по отношению к любым видам антропогенного воздействия. Даже незначительные нарушения, связанные с уничтожением растительного покрова, переуплотнением поверхностных почвенных горизонтов, образованием вторичных форм рельефа при малой мощности почв приводят к интенсификации водной эрозии, последствия которой в большинстве случаев являются необратимыми.

Сильная степень деградации почвенно-растительного покрова проявляется локально и отмечается вокруг населенных пунктов, стоянок скота, по скотопрогонным тропам. Она выражается упрощением состава и структуры растительных сообществ, а в крайних случаях до их полного уничтожения.

В зависимости от характера антропогенного воздействия возникают изменения и в почвенном покрове. Деградация проявляется в полном или частичном уничтожении почвенного профиля, нарушении мощности генетических горизонтов; изменении физических и химических свойств почв; нарушении температурного, воздушного и водного режимов почв.

Для большинства редких и исчезающих видов растений основным неблагоприятным фактором является сокращение пригодных мест обитания в результате перевыпаса. Отрицательно на них влияет вытаптывание растений и уплотнение почвы при сборе ягод и грибов людьми и пастыбе скота. Наиболее чувствительны к такому воздействию травянистые растения.

Таким образом, разрушение почвенного покрова происходит в тысячу раз быстрее, чем его образование. В связи с этим на участках ГПР «Бокейорда» важно проводить мероприятия по охране и защите почв от разрушительных воздействий.

Мероприятия, направленные на восстановление и сохранение почвенного покрова:

– введение ограниченного использования территорий в качестве пастбищ в пределах зон ограниченной хозяйственной деятельности;

- формирование оптимальной экологически обоснованной дорожно-тропиночной сети;
- прекращение не связанной с санитарными целями несанкционированной порубки древесных и кустарниковых пород;
- рекультивация участков с нарушенным или отсутствующим растительным покровом путем посева трав;
- разработка и реализация мер по снижению выбросов вредных веществ от стационарных и передвижных источников, загрязняющих почвенный покров;

Для защиты почв от водной и ветровой эрозии необходима разработка и реализация комплекса противоэрозионных мер. В этой связи, учитывая особую неустойчивость геоэкосистем к антропогенному воздействию, передвижение по территориям должно осуществляться по проложенным и укрепленным дорогам и тропам.

Необходимо организовать наблюдения за состоянием почв и при необходимости запрещать или ограничивать рекреационное использование нарушенных территорий.

Для повышения плодородия почвенного покрова требуется проведение мероприятий по борьбе за накопление и сохранение влаги, применение органо-минеральных удобрений, особенно фосфорных, так как они крайне недостаточно обеспечены фосфором.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Земельный кодекс Республики Казахстан: офиц. текст: по состоянию на 4 мая 2005 г. – Алматы: Юрист, 2005. – 116 с.
- [2] Вьюрков В.В. Сохранение и повышение плодородия темно-каштановых почв Приуралья // Сб. докладов междунар. науч.-практ. конф. Оренбургского регионального института переподготовки и повышения квалификации руководящих кадров и специалистов АПК «Земельные отношения на современном этапе: проблемы, пути решения». – Оренбург, 2004. – С. 185-191.
- [3] Браун Э.Э., Чекалин С.Г., Лиманская В.Б., Жакселикова Г.К. Выводное поле многолетних трав, как основной фактор повышения плодородия земель // Сб. докладов междунар. науч.-практ. конф. «Экономическое, социальное и культурное развитие Западного Казахстана: история и современность», посвящ. 180-летию Оружейной палаты Букеевского ханства. – Уральск: ЗКАТУ им. Жангир хана, 2008. – С. 287-288.
- [4] Кененбаев С.Б., Иорганский А.И. Основные итоги НИР по проблеме воспроизводства плодородия неполивных темно-каштановых почв Казахстана // Сб. докладов междунар. научн.-практ. конф. «Перспективные направления стабилизации и развития агропромышленного комплекса Казахстана в современных условиях», посвящ. 90-летию со дня образования Уральской с.-х. станции и 100-летию со дня рождения Н.И. Башмакова. – Уральск, 2004. – С. 184-187.
- [5] Сапаров А.С., Рамазанова Р.Х. Пути повышения продуктивности сельскохозяйственных культур и плодородия почв в условиях рынка // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. – 2002. – № 8. – С. 27-29.
- [6] Петренко А.З. и др. Природно-ресурсный потенциал и проектируемые объекты заповедного фонда Западно-Казахстанской области. – Уральск: ЗКГУ, 1998. – 176 с.
- [7] Salikhov T.K., Karagoishin Zh.M. and others. Geoeological assessment of the projected State Nature Reserve 'Bokeyorda' in West Kazakhstan Region. Oxidation Communications. – 2016. – № 39(4). – С. 3579-3590.
- [8] Салихов Т.К. Батыс Қазақстан агроэкожүйелеріндегі топырақ жамылғысының құнарлығының қазіргі жағдайы // С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университетінің Ғылым жаршысы. – 2010. – № 4. – 96-101 б.
- [9] Сулейменова Н.Ш., Әуезов Ә.Ә., Оразымбетова Қ.Н. Егіншілік практикумы. – Алматы, 2006. – 227 б.
- [10] Салихов Т.К. Практикум по почвоведению. – Астана: ЕНУ им. Л. Н. Гумилева, 2009. – 172 с.
- [11] Шейн, Е.В. Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств и режимов почв. – М.: МГУ, 2001. – 198 с.
- [12] Салихов Т.К. Географо-экологическая оценка состояний государственного природного резервата «Бокейорда»: Монография. – Алматы: Эверо, 2016. – 232 с.
- [13] Елешев Р.Е., Елемесов Ж.Е., Мухаметкәрімов Қ.М. Топырақтану практикумы. – Алматы: Қазақ ұлттық аграр. ун-ті, 2006. – 156 б.
- [14] Рахимғалиева С.Ж. Практикум по почвоведению: учеб. пособие для с.-х. вузов. – Уральск: ЗКАТУ им. Жангир хана, 2004. – 198 с.
- [15] Ковда В.А. Солончаки и солонцы: монография. – М.: Академия наук СССР, 1937. – 249 с.

#### REFERENCES

- [1] The Land Code of the Republic of Kazakhstan: official. Text: As of May 4, 2005. Almaty: Lawyer. 2005. 116 p.
- [2] Vyurkov V.V. Preserving and improving the fertility of dark chestnut soils Urals // Proceedings of the international scientific-practical conference. Orenburg regional institute of retraining and advanced training of managers and specialists Agroindustrial complexes "Land relations at the present stage: problems and solutions". Orenburg, 2004. P. 185-191.
- [3] Brown E.E., Chekalin S.G and others. Excretory field of perennial grasses as the main factor in increasing the fertility of the land // Proceedings of the international scientific-practical conference "Economic, social and cultural development of Western

Kazakhstan: History and Modernity", dedicated. 180th anniversary of the Armory Bukeyev Khanate. Uralsk: West Kazakhstan Agrarian Technical University named Zhangir khan, 2008. P. 287-288.

[4] Kenenbayev S.B., Iorganskiy A.I. The main results of research on the issue of reproductive fertility rainfed dark chestnut soils of Kazakhstan // Proceedings of the international scientific-practical conference "Perspective trends of stabilization and development of the agro-industrial complex of Kazakhstan in modern conditions", is dedicated. 90th anniversary of the founding of the agricultural Uralsk station and the 100th anniversary of the birth of N.I. Bashmakova. Uralsk, 2004. P. 184-187.

[5] Saparov A.S., Ramazanova A.H. Ways to increase crop productivity and soil fertility in the marketplace // Bulletin of Agricultural Science of Kazakhstan. 2002. N 8. P. 27-29.

[6] Petrenko A.Z., Zhubanov A.A. and others. Natural Resource Potential and Planned Facilities Reserve Fund of the West Kazakhstan Region. Uralsk, 1998. 176 p.

[7] Salikhov T.K., Karagoishin Zh.M. and others. Geocological assessment of the projected State Nature Reserve 'Bokeyorda' in West Kazakhstan Region. Oxid Commun. 39 (4). 3579 (2016).

[8] Salikhov T.K. The current state of fertility of soil geosystems of Western Kazakhstan // Bulletin of the Kazakh Agro-Technical University named after S.Seifullin (Section biological sciences). 2010. N 4. P. 96-101.

[9] Suleimenov N.Sh., Auezov A.A., Orazymbetova K.N. Workshop on agriculture. Almaty, 2006. 227 p.

[10] Salikhov T.K. Workshop on soil science. Astana: L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2009. 172 p.

[11] Shein E.V. Field and Laboratory Methods for Studying the Physical Properties and Soil Conditions. M.: Moscow State University, 2001. 198 p.

[12] Salikhov T.K. Geographical and environmental assessment of the state nature reserve "Bokeyorda": Monograph. Almaty: Every, 2016. 232 p.

[13] Eleshev R.E., Yelemesov Zh.E., Muhametkərimov K.M. Workshop on Soil. Almaty: Kazakh national agrarian university, 2006. 156 p.

[14] Rahimgaliev S.Zh. Workshop on soil science: Textbook. aid for agricultural universities. Uralsk: West Kazakhstan Agrarian Technical University named Zhangir khan, 2004. 198 p.

[15] Kovda V.A. Solonetz and salt-marsh: monographie. M.: Academy of Sciences of the USSR, 1937. 249 p.

#### Т. Қ. Салихов

Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан

#### БАТЫС ҚАЗАҚСТАН ОБЛЫСЫНДА ЖОБАЛАНҒАН «БӨКЕЙОРДА» МЕМЛЕКЕТТІК ТАБИҒИ РЕЗЕРВАТ АУМАҒЫНЫҢ ТОПЫРАҒЫНА ЖҮРГІЗІЛГЕН ДАЛАЛЫҚ ЖӘНЕ МОНИТОРИГТІК ЗЕРТТЕУЛЕРІ

**Аннотация.** Зерттеу нәтижесінде Батыс Қазақстан облысында «Бөкейорда» атты жобаланып отырған мемлекеттік табиғи резерватының геоэкожүйелерінде топырақ жамылғысының бірқатар физикалық, биологиялық және химиялық көрсеткіштері анықталды: морфогенетикалық қасиеттері, түйіршіктік құрамы, қарашірік мөлшері, қоректік заттардың қоры, топырақтың сіңірді негіздердің мөлшерімен су сүзіндісіндегі сіңірілген иондар мөлшері. Экожүйелік талдау мен ГАЖ-технологиялар негізінде топырақ жамылғысының картасы жасалынды. Табиғи және антропогендік факторлардың топырақ жамылғысына әсерін бағалау мен талдауы жүргізілді Жобаланған мемлекеттік табиғи резерватының топырақ жамылғысын сақтау және оны арттыруына бағытталған ұсыныстар берілді.

**Түйін сөздер:** топырақ құнарлылығы, топырақтың түйіршіктік құрамы мен оның қасиеттері, топырақтың қарашірік мөлшерімен қорек қоры, топырақтың сіңірді негіздердің мөлшерімен су сүзіндісіндегі сіңірілген иондар мөлшері.

#### Сведение об авторе:

Салихов Талгат Кумарович – кандидат сельскохозяйственных наук, Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, и.о. ассоциированного профессора (и.о.доцента) кафедры физической и экономической географии, salikhov\_tk@enu.kz; tuatai\_76@mail.ru

**NEWS**

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES**

ISSN 2224-5278

Volume 4, Number 424 (2017), 270 – 275

UDC 622.323(574.1)

**S. M. Ozdoyev, M. A. Mashrapova**

Institute of Geological Sciences named after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan

E-mail: ozdoyevsultan@mail.ru, moldir\_m\_m@mail.ru

**GEOLOGICAL STRUCTURE AND METHODS  
OF INCREASING OIL RECOVERY  
OF THE PRODUCTIVE HORIZONS  
OF THE ARYSTAN DEPOSIT**

**Abstract.** There are the reservoirs of the deposit, which are presented in the form of laterally and layerwise heterogeneous in terms of their reservoir properties and productivity coefficients, permeability, efficiency of oil-saturated capacities in the article. The methods of using the optimal technologies in increasing the selection of oil in the productive wells of the wells of the Arystan deposit are selected.

**Key words:** deposit, oil, gas, flow rate, well, reservoir, core, bed thickness, permeability, porosity, reservoir, recovery factor, hydraulic fracturing, productivity, oil saturation.

**Introduction.** The extraction of high-viscosity heavy oil with a large percentage of paraffin for the extractive industries of the petroleum industry in Kazakhstan has always been a problem. Most of the deposits of the Mesozoic deposits of the sedimentary basins of Kazakhstan are explored comparatively at small depths up to 2500-3000 meters and many of which have long been exploited. The high depletion of Mesozoic stocks of oil deposits is an inevitable consequence of the watercut in the oil produced and decrease in well production rates. That is why the use of traditional technologies not only reduces the competitiveness of the country's economy, but also makes it impossible to use oil and gas reserves in the future.

Increasing the flow rate of wells in the conditions of feeding oil production is acute in old fisheries for the majority of oil companies in Kazakhstan. The use of enhanced oil recovery technologies to develop residual oil reserves in the Mangyshlak and Ustyurt deposits requires constant improvement and perfection.

Commercial success requires the use of an inexpensive, highly efficient oil recovery method. One of the most common and widely used methods is the technology of hydraulic fracturing to improve the oil recovery factor. Enhanced oil recovery at the deposits of Mangyshlak and North Ustyurt is associated with hard-to-recover reserves, the extraction of which requires the use of additional technologies for the performance of the adopted oil recovery factors.

The key issues related to the uncertainty of the Arystan deposit are well acceptance, operating method, paraffin and salt deposition, primary processing of extracted oil and growth of hydraulic fracturing during fluid injection, flooding coverage, heterogeneity of the lithological composition of the reservoir rocks.

In the concept of a calculated geological model, each oil deposit of the Arystan field is represented in the form of a set of reservoirs that are characterized by discontinuity in occurrence over the area and dissection in the thickness of the formation within the productive oil-saturated part of the reservoir. The capacitance-filtration properties of the oil reservoirs at the Arystan deposit differ significantly in the results of the analytical data of the core material [1, 2].

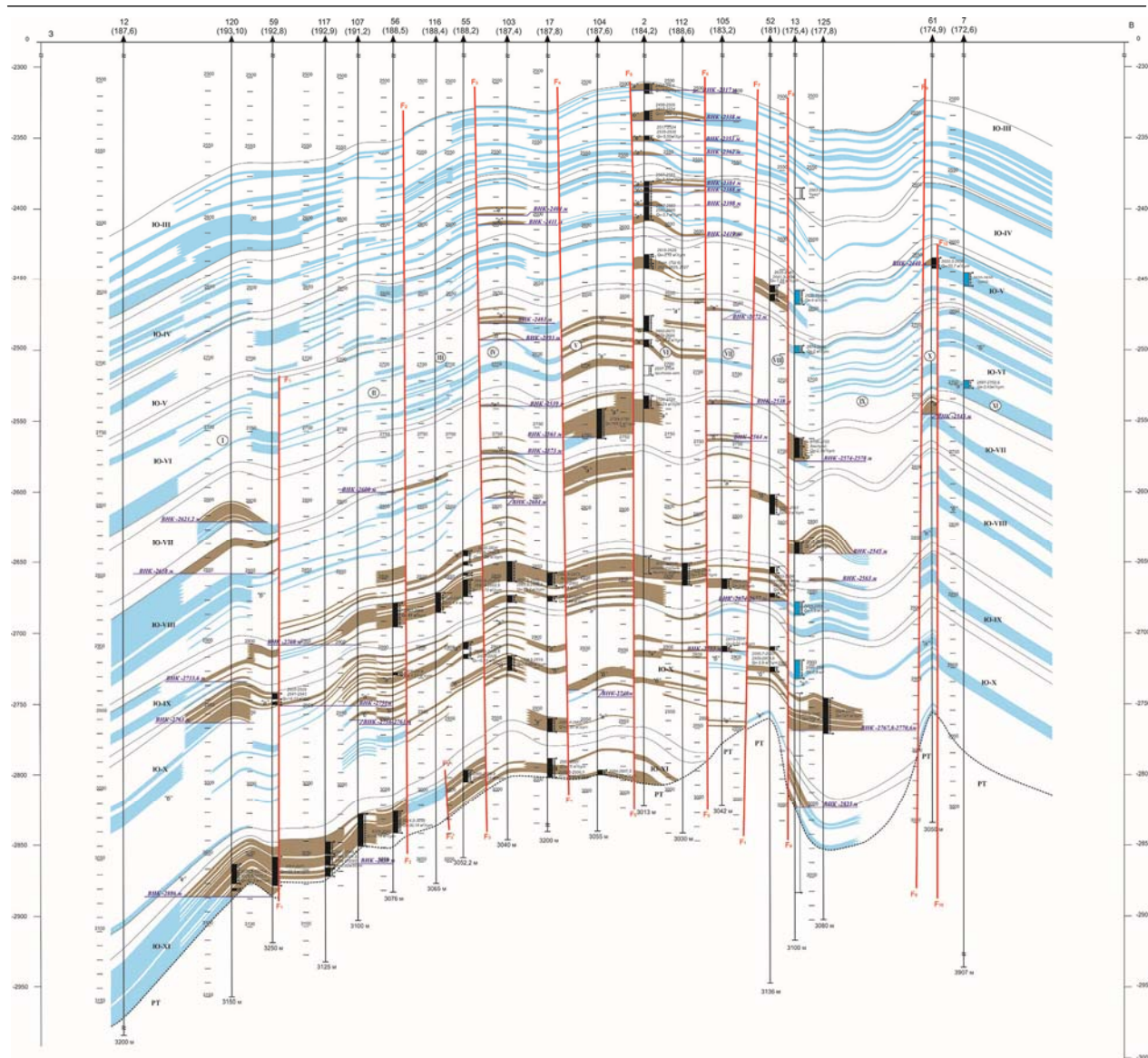


Figure 1 – Geological profile along the line of wells.  
Scale: Horizontal 1:25 000, Vertical 1: 1 000

When developing a model, each segregated reservoir is characterized by reservoir properties as a difference from the others. The considered deposits are represented in the form of laterally and layerwise nonuniform reservoir properties according to the coefficients of productivity, permeability, effective oil-saturated capacities (Figure 1) [3].

The increase in recoverable reserves due to the growth of the oil recovery factor is characterized by the industrial application of modern integrated methods of enhanced oil recovery (EOR). As is known, the developed deposit Arystan has a complex geological structure, lithology of the cut rocks, due to the inconsistency of the occurrence of reservoirs, their frequent replacement by clayey differences. Its influence was rendered by the late Kimmeridgian tectonic activity, which divided the section by 11 faults, complicated the structure of oil-bearing horizons of the Jurassic deposits by 12 blocks.

The block structure of the deposit is clearly visible in the deep seismic section, shown along the well line (Figure 2) and on the well layout diagram on the area of the field with the external oil-bearing contours of productive horizons: J-XI, J-IX, J-VIIa (Figure 3).

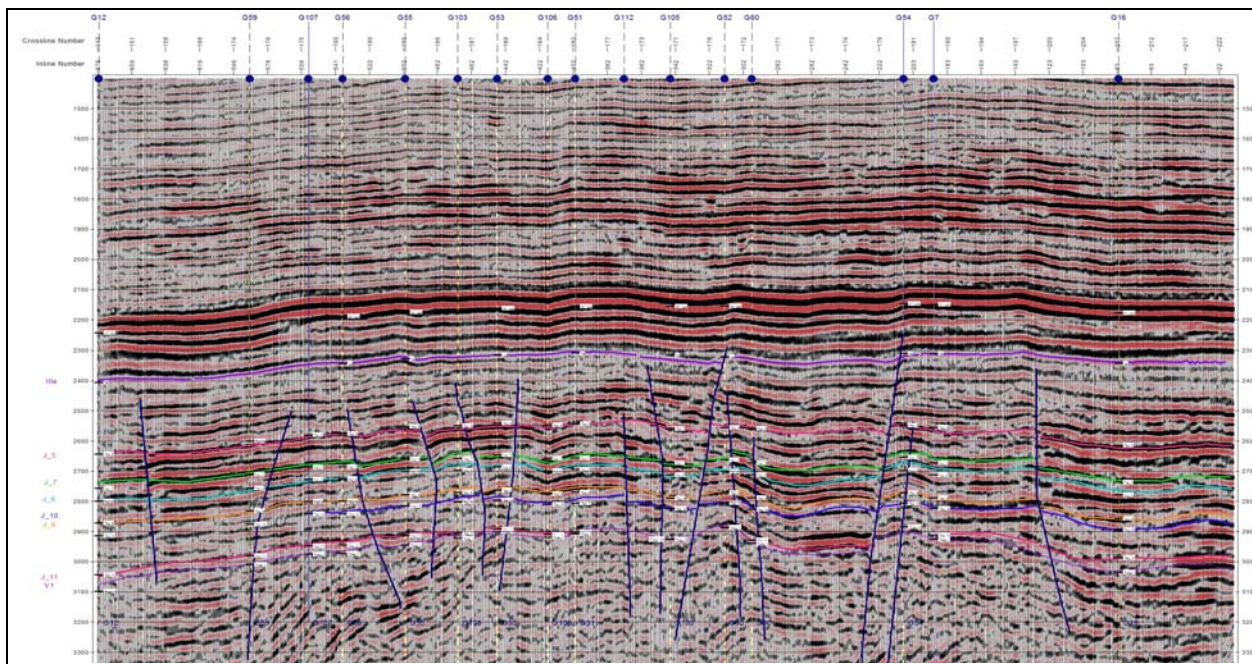


Figure 2 – Depth seismic section along the line of wells  
G12, G59, G107, G56, G55, G103, G53, G106, G51, G112, G105, G52, G60, G54, G7, G16

The nine productive horizons are represented by terrigenous rocks – mainly sandstones, rarely siltstones, argillites, irregular interbedding of rock differences, forming lithological macro- and micro-lamination.

The horizons are separated between each other by clay clamping, the thickness of which varies from 1.52 to 27.43 m with an average thickness of 9.36 m. The screening capacity of clay clamping in the regional plan is fluid deterrent.

In the oil industry there are more than a hundred different types of relevant technologies, but the process of developing new solutions continues to gain momentum. At the same time, the primary and secondary generations of methods of increasing oil recovery came to replace the Tertiary ones, which became the main object of our study.

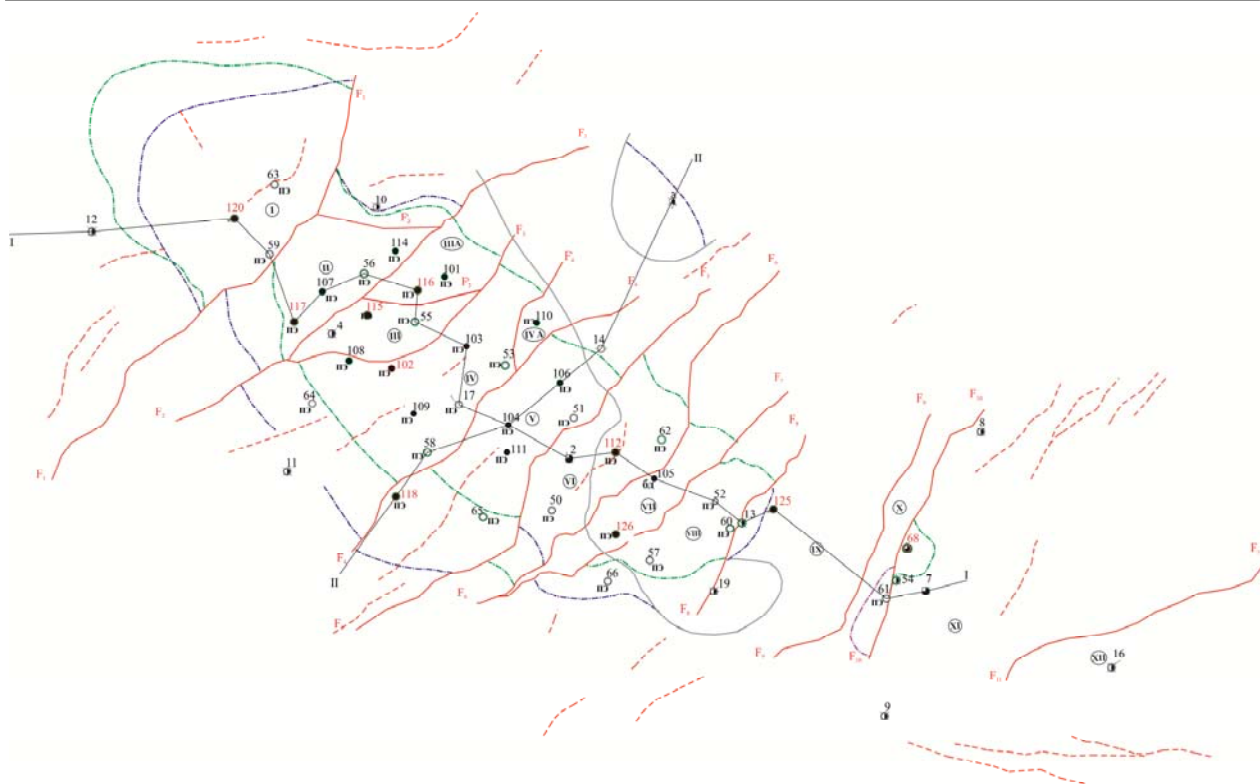
In our case, the traditional methods of applying modern technology to increase oil recovery have shown positive results in the Arystan deposit, primarily hydraulic fracturing of the reservoir, perforating and blasting operations, hot oil treatment, gas treatment of production wells. Despite the costs, at the initial stage, the introduction of an methods of increasing oil allows enhancing the oil recovery of the reservoir.

Based on the filtration-capacitive properties of reservoirs of productive horizons and the minimum production rates of some wells in the Arystan deposit, the article suggests an option of using modern technologies to increase the oil recovery of horizon deposits.

As a method of intensifying the inflow of fluids by influencing the bottomhole zone of wells in the Arystan deposit, it is recommended to apply hydraulic fracturing of the formation. For the purpose of forming new or expanding natural fractures already existing in the reservoir under the influence of the fracturing fluid injected into the formation. As a result of the impact on the rocks in the formation of the formation of cracks subvertical or subhorizontal direction. In order that the cracks do not close after the pressure is removed, a proppant must be introduced in them, often sorted quartz sand of 0.5–0.8 mm fraction is used, and larger fractions 1.2–2 mm are also used. The practice of application hydraulic fracturing shows that, in the case of a successful fracturing operation, well productivity may increase tens of times due to improved communication of the reservoir with the well with a large radius of influence on the propagation of cracks.

At the Arystan deposit, the deposits of the horizons given in the column 4, table 1 are particularly low-debit.





Conventions









-  Outer contour of oil-bearing horizon J-XI
-  Outer contour of oil-bearing horizon J-IX
-  Outer contour of oil-bearing horizon J-VIIa
-  Replacement zone of the horizon collector J-XI
-  Block number
- Tectonic disturbances:
  -  established by seismic data, results of drilling and well testing
  -  predicted by seismic data, without breaking the continuity of rocks
-  Line of geological profile

Figure 3 – Arrangement of wells in the Arystan area with external oil-bearing contours of the productive horizons J-XI, J-IX, J-VIIa

The total number of them is equal to nineteen wells, the sum of their debits during trial operation is about 70 m<sup>3</sup>/day. It is sufficient to apply secondary methods of hydraulic fracturing or hot oil treatment to increase the volume of oil production, the productivity of these wells is minimally five to seven times and bring the selection to 750-800 m<sup>3</sup>/day.

Indicators of oil flow rates of trial operation and hydraulic fracturing

#	Horizon	Reservoir	Oil flow rates		Block	№wells
			when tested, m <sup>3</sup> /day	estimated debit after fracturing, m <sup>3</sup> / day		
1	J-III	«a»	1,8	12,6	VI	2
2		«b»	3,3	23,1		
3		«v»	5,5	38,5		
4	J-IV	«a»	2,32	16,24	VI	2
5		«v»	3,7	25,9		
6	J-V		3,12	21,84	VI	2
7			1,88	13,16	VIII	52
8	J-VI		6,19	43,33		62
9	J-VII	«a»	2,3	16,1	IX	13
10			10,5	73,5	VIII	66
11	J-VIII	«v»	1,06	7,42	III	55
12		«b»	1,4	9,8	IX	13
13		«b»	11,1	77,7	V	65
14	J-IX		1,4	9,8	III	116
15			4,94	34,58	IV	17
16			7,48	52,36		17
17			4,3	30,1	VI	112
18			3	21	VII	105
19			4	28	VIII	52
20	J-X	«a»	0,13	0,91	I	59
21		«a»	1,21	8,47	II	56
22		«a»	0,43	3,01	III	55
23		«a»	0,42	2,94	IV	58
24		«b»	3,6	25,2		58
25		«b»	0,85	5,95		103
26		«b»	5,9	41,3	VIII	52
27			7,9	55,3	I	63
28	J-XI		0,82	5,74	II	107
29			6,72	47,04	V	104
			≈Σ107,27	≈Σ750,89		

In this article, it is recommended that fracturing of the formation is carried out in the wells listed in Table with the aim of increasing the additional oil production. Preliminary calculations of the well production rates after the hydraulic fracturing of the well operation operation and the change in the daily subsistence increment from the minimum to the maximum oil production rates.

#### REFERENCES

- [1] Dakhnov V. Geophysical methods for the determination of reservoir properties and oil and gas saturation of sediments. M.: Nedra, 1975. 343 p. (in Russ.).
- [2] Kozhevnikov D., Kovalenko K. Modulation of granular reservoir based on petrophysical invariance // NTV «Karotazhnik». Tver. Publication. AJS, 2007. Education 161. P. 66-84 (in Russ.).
- [3] Niyazova A., Borisenko G. Petrophysical model of well logging interpretation charts in Arystan field // Works book of the third international scientifically-practical conference «Status, problems and challenges of informatization in Kazakhstan», dedicated Almaty, 20-22 of November 2014. P. II. P. 331-335 (in Russ.).

**С. М. Оздоев, М. Ә. Машрапова**

Қ. И. Сәтбаев атындағы геологиялық ғылымдар институты, Алматы, Қазақстан

### **АРЫСТАН КЕНОРНЫНЫҢ ГЕОЛОГИЯЛЫҚ ҚҰРЫЛЫМЫ ЖӘНЕ ӨНІМДІ ҚАБАТТАРЫНЫҢ МҰНАЙБЕРГІШТІГІН АРТТЫРУ ӘДІСТЕРІ**

**Аннотация.** Өнімділік, өткізгіштік коэффициенті, мұнайқанықтық қалыңдығының тиімділігі мен коллекторлық қасиеті бойынша латеральді және қатпарлы түрдегі бір текті емес кенорнының шоғырлары осы мақалада қарастырылған. Арыстан кенорны горизонттарының өнімді шоғырларындағы ұңғымалардан мұнай өндіруде тиімді технологияларды пайдалану әдістері таңдалынып алынған.

**Түйін сөздер:** кенорын, мұнай, газ, дебит, ұңғыма, коллектор, керн, қалыңдық, өткізгіштік, кеуектілік, шоғыр, айырып алу коэффициенті, қатты сумен жару, өнімділік, мұнайқанықтық.

**С. М. Оздоев, М. А. Машрапова**

Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

### **ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПРОДУКТИВНЫХ ГОРИЗОНТОВ АРЫСТАНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**Аннотация.** В статье рассмотрены залежи месторождения представленные в виде латерально и по-слоино неоднородные по своим коллекторским свойствам и коэффициентам продуктивности, проницаемости, эффективности нефтенасыщенных мощностей. Подобраны методы применения оптимальных технологий в наращивании отбора нефти продуктивных залежей горизонтов скважин Арыстановского месторождения.

**Ключевые слова:** месторождение, нефть, газ, дебит, скважина, коллектор, керн, мощность, проницаемость, пористость, залежь, коэффициент извлечения, гидроразрыв пласта, продуктивность, нефтенасыщенность.

**NEWS**

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES**

ISSN 2224-5278

Volume 4, Number 424 (2017), 276 – 280

UDC 622.323(574.1)

**S. M. Ozdoyev, N. Tileuberdi**

K. I. Satpaev Institute of geological sciences, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: Nureke-17@mail.ru, ozdoyevsultan@mail.ru

**THE GEOLOGICAL PREREQUISITES  
FOR INCREASING OIL PRODUCTION  
AT THE NORTH KARAMANDYBAS FIELD**

**Abstract.** In this research the geological structure of the North Karamandybas oil field, its oil-bearing deposits, their association with the age groups of the sedimentary strata are considered. According to the structural plan of the local uplift of Northern Karamandybas structure, it is found that the lower Triassic rocks under the Jurassic deposit surface have moved 1 km to north-east comparatively. The risk of discovery of new hydrocarbon deposits in the Triassic and Paleozoic deposits is excluded. The risk has been taken to discover the new hydrocarbon deposits.

**Keywords:** North Karamandybas field, deposits, oil, sedimentary basins, Jurassic, Triassic, isohypses, reflecting horizons, discovery, brachianticlinal, hydrocarbons.

Implementation of the decisions of the President of the country N. A. Nazarbayev on the development of the oil and gas extraction industry can not be carried out without replenishing hydrocarbon reserves and increasing their production. At this time, the main reserves and their extraction are centralized in the territory of Western Kazakhstan. Investigators of oil and gas geology associate discovery of new fields with the shelf zone of the Caspian Sea, which is associated with significant costs.

Exploration work in the sedimentary basins of East Kazakhstan has been poorly studied except for South Turgai and requires substantial capital expenditures. Therefore, the use of potential opportunities for old fields with developed infrastructure is economically viable and deserves special attention. For example, the largest deposits Zhetybai and Uzen in Mangystau province have been in operation for sixty years, the recoverable reserves are not infinite. The need for advanced work - scientific research and exploratory drilling has arisen to increase the reserves of hydrocarbon raw materials and to provide employment for the near and far future of highly qualified specialists in the oil and gas extraction industry.

Oil and gas deposits of the Mangystau region are mainly associated with structures characterized by a complex geological structure. Reserves of oil and gas are installed mainly in the Jurassic deposits and in the Cretaceous and Triassic rocks and are confined to the arched parts of local structures [1, 2].

In all sedimentary basins of Kazakhstan Jurassic deposits according to geochemical data are the generators of oil and gas. Proceeding from this, the prospecting works in the Soviet Union were aimed at the discovery of a deposit of oil and gas in the Jurassic deposits. As a consequence, they are most well studied. Lower lying pre-Jurassic layers have been studied much worse and have been opened with rare wells. Nevertheless, for the time being, 17 hydrocarbon deposits have been discovered in the Triassic layers of Mangystau oblast. Three of these are in the lower Triassic: North-West Zhetybai, Tasbulat, Oymash; Seven are in the middle layer : Atambay, South Zhetybai, Pionerskoe, Ashiagar, Severnoye Pridorozhnoye, Aral'yube, Rakushechnoe and seven are in the upper layer: Kamenistoye, Normal East, Western Aktas, Pridorozhnoye, Severnaya Karagie, Mahat, Zharty, thus proving their high prospects for discovery New oil and gas fields.

One of the promising structures with an established oil content in the Jurassic sediments and the prospect of incrementing reserves by discovering new oil deposits in the Triassic rocks is the North Karamandybas deposit, located in Mangystau province, 39 km from Zhanauzen to north-west [3].

On the structure of the Northern Karamandybas on the surface of the Jurassic deposits (III horizon), the contour of the brachianticline is enclosed by a 960 m with isohypsum and measures 4.0x2.0 km (Figure 1), where the nine main productive horizons are found in the Middle Upper Jurassic layer. Deposits are identified in 6 horizons, 5 of them are in the Bayosian tier of the Middle Jurassic, and 2 of them are in the Bathonian Stage and 2 of them are deposits in the Callovian Tier in the Upper Jurassic (Figure 2).

The diagram of the drilled wells on the North Karamandybas structure shows that on the structural map along the reflecting horizon III (the roof of the Jurassic) to the arch of the local uplift, the wells №10, №3 and №11 are closest to each other and they have opened oil reservoirs. Well №1 drilled in the north-west is at a distance of 2 km from the local uplift, well №2 at a distance of 3.2 km to the east and №13 well is located in the north-east of the center of the local uplift at a distance of 1 km. All three wells №1, №2 and №13 are located out of the oil-bearing contour (Figure 1).

The fact is that according to the data of the isolines of depths on the structural map on the roof of the Indian layer of the Lower Triassic sediments on the site of a local uplift along the roof of all the productive horizons of the Jurassic deposits, along the surface of the complicated relief by faulty tectonics, a deflection of the sublatitudinal strike from northwest to southeast With depth marks - from 2.6 to 2.9 km (Figure 3).

The inversion Triassic structure with a biconvex lenticular form due to its formation is due to regional tangential tectonic movements on the Turan plate, where the bifurcation of the sedimentary strata occurred approximately in the Middle Triassic time.

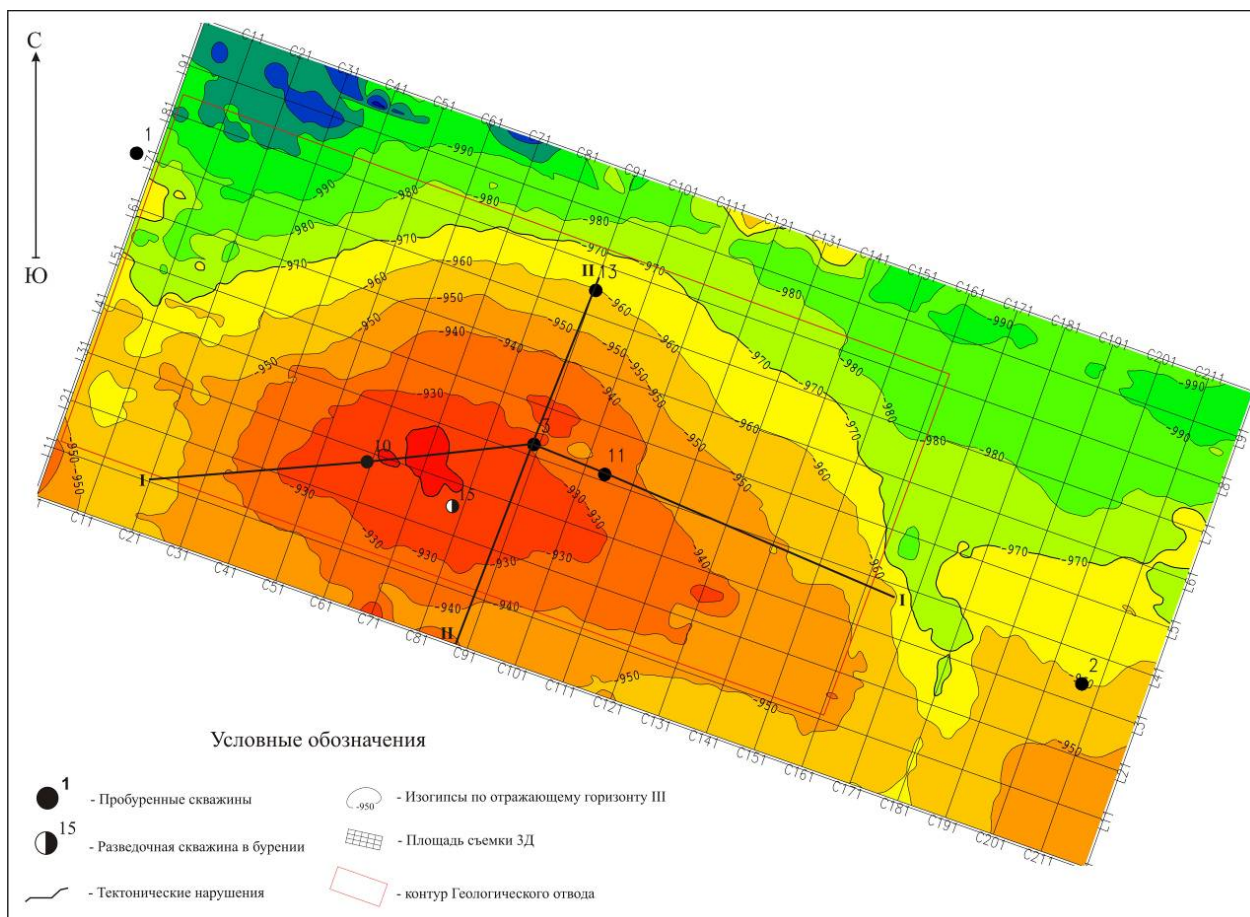


Figure 1 – Structural map of the III reflecting horizon of the North Karamandybas deposit (based on PGD services)

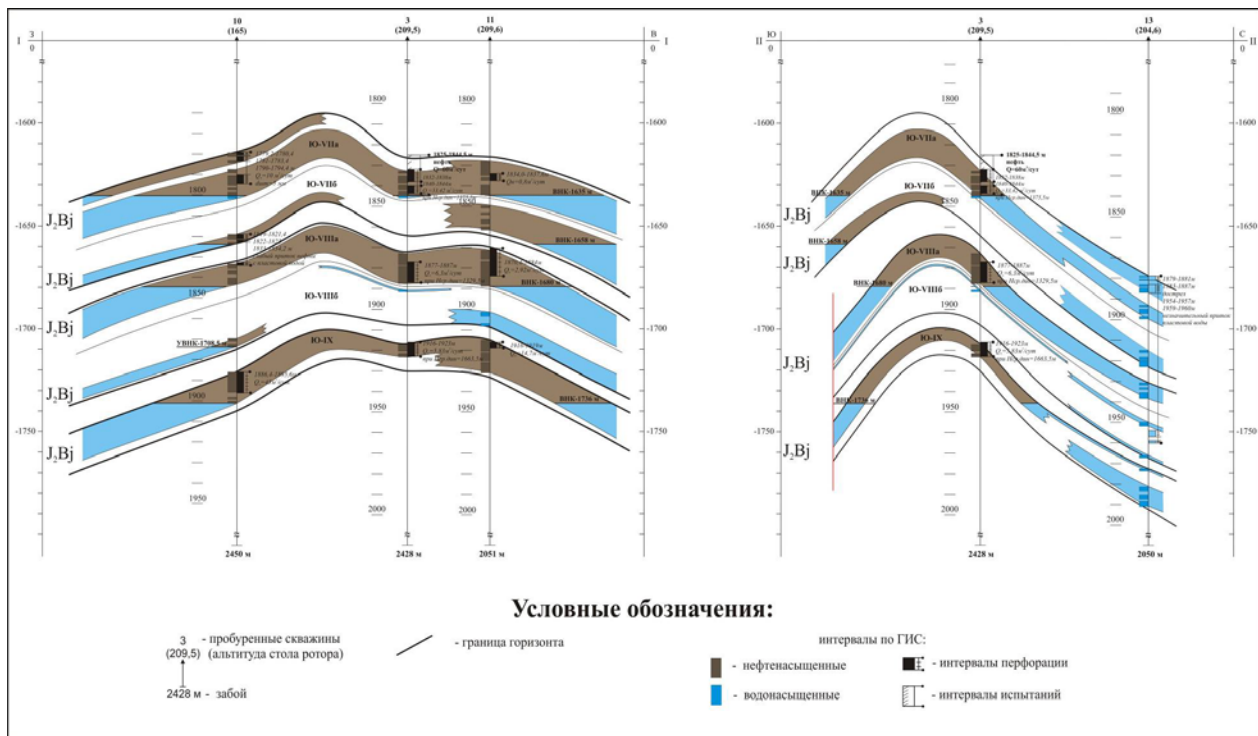


Figure 2 – Geological profiles along the I-I, II-II line of the North Karamandybas field.  
Scale: horizontal: 1: 10000, vertical: 1: 10,000

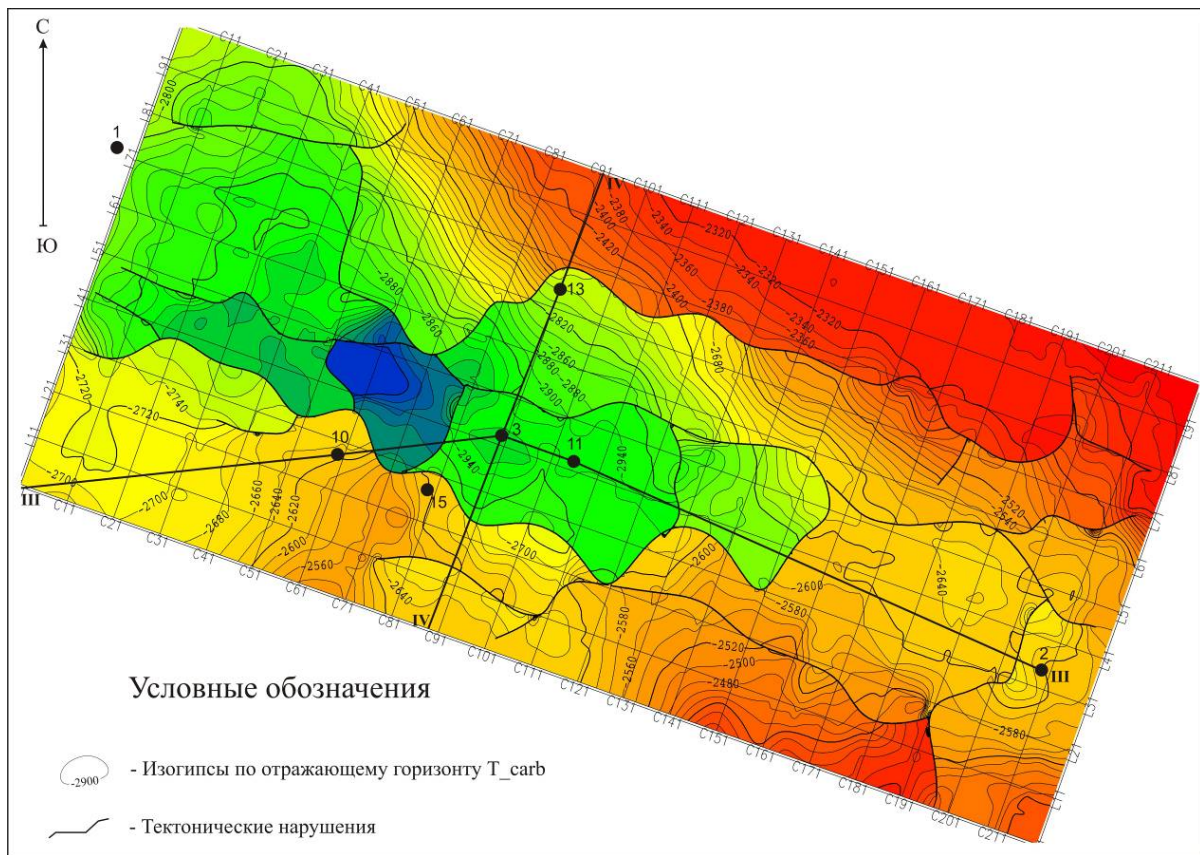


Figure 3 – Structural map on the roof of the reflecting horizon of the Lower Triassic deposits of the North Karamandybas deposit (based on PGD services)

The inherited structure of the geological structural plan of the Northern Karamandybas area is observed from the Upper Triassic time. This is evidenced by all maps of reflecting horizons and a map constructed according to  $V_1$  reflecting horizon stratigraphically related to the roof of Triassic deposits, isohypses contour is 2250 m, the brachianticlinal has dimensions  $4.1 \times 1.8$  km with an amplitude of 70 m [3].

On the seismic profile compiled according to the materials of PGD Services, the structure of the North Karamandybas area structure along the surface of the Triassic sediments moved to the northeast closer to the well No. 13 by more than 1 km (Figure 4). This suggests that, at least from the Middle Triassic, tangential movements on the Turan plate with a general northward direction have made adjustments to restructure the structural plan not only of the Lower Triassic complex of the North Karamandybas area but also in the structure of the deeper rocks of the Triassic and Paleozoic Sediments [4].

A thorough analysis of the available geological and geophysical data and a conclusion on the displacement of the structural plan of the local arch of elevation along the lower-lying Triassic surface of the lower stratum by geophysical materials, and at the North Karamandybas deposit, promising opportunities to build up additional hydrocarbon reserves.

Based on the available materials about the depth of the drilled well № 13-2050 m, which is located closer to the elevated elevation and to the lower deep Triassic and Paleozoic horizons, it is recommended to drill its depression to a mark of 3300 m (Figure 4). When carrying out relevant prospecting works, it is possible to discover new hydrocarbon deposits in the Lower Triassic and Paleozoic deposits. The discovery of deposits should be expected within the depths of 2300-3300 m to increase the volumes of the already explored reserves of Jurassic rocks.

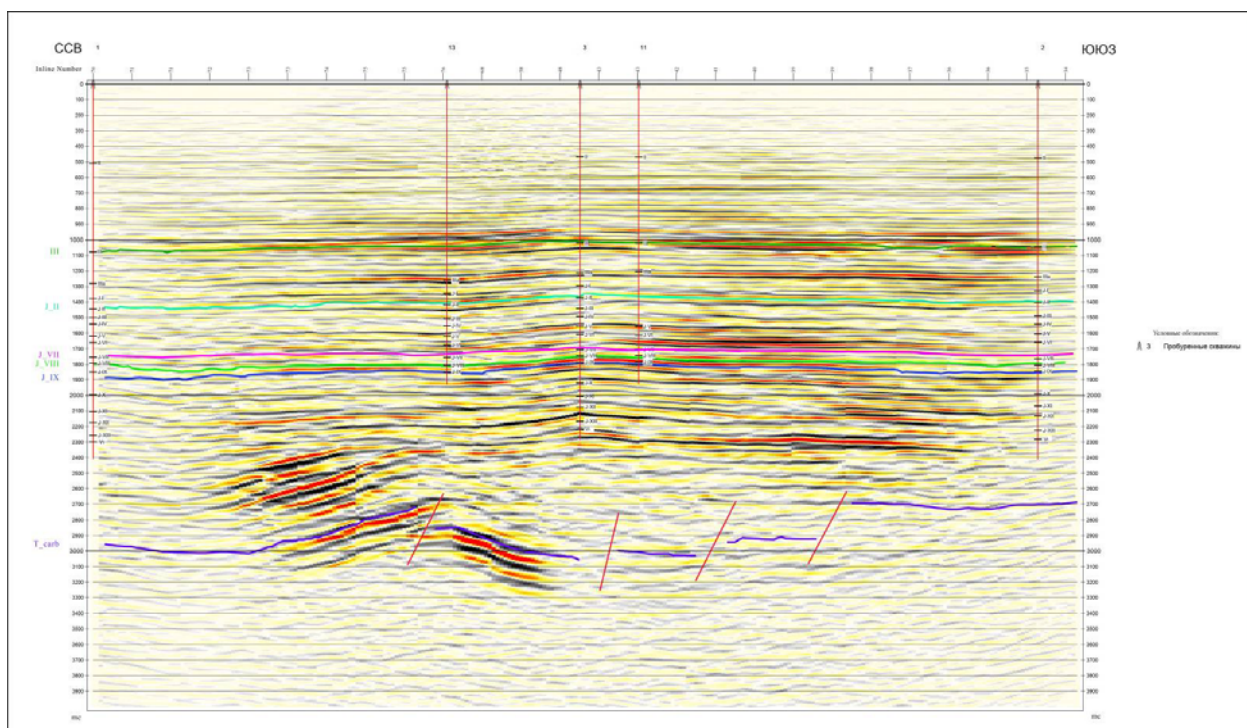


Figure 4 – Seismic profile along the line of wells 1, 13, 3, 11, 2 of the North Karamandybas field.

Scale: 100 0 200 1:10 000

#### REFERENCES

- [1] Chakabaev S.E., Kononov Y.S., Vatsoyevsky E.S., Ivanov V.A., Shakhovoy A.I. Geology and oil and gas potential of Southern Mangyshlak. Almaty: Science, 1967. 225 p.
- [2] Chakabaev S.E., Kononov Y.S., Ivanov V.A. Stratigraphy and collector properties of Jurassic deposits of South Mangyshlak in connection with their oil and gas content. M.: Nedra, 1971. 167 p.
- [3] Reference book. Deposits of oil and gas in Kazakhstan / Authors: Votsalevsky E.S., Bulekbaev Z.E., Iokuzhiev B.A. and others. Almaty, 1999. 372 p.
- [4] Zholtaev G.Zh., Mysaev I.N. Physico-lithological characteristics and structure of the Jurassic-Triassic oil and gas bearing complexes of the Southern Mangyshlak // Bulletin of KazNTU. 2015. N 4. P. 47-52.

**С. М. Оздоев, Н. Тілеуберді**

Қ. И. Сәтбаев атындағы геологиялық ғылымдар институты, Алматы, Қазақстан

**СОЛТҮСТІК ҚАРАМАНДЫБАС КЕНОРНЫНЫҢ МҰНАЙ ӨНДІРІСІ  
ҚОРЫН АРТТЫРУДЫҢ ГЕОЛОГИЯЛЫҚ АЛҒЫШАРТЫ**

**Аннотация.** Солтүстік Қарамандыбас мұнай кенорнының геологиялық құрылысы, оның мұнайлы шоғырлары, олардың шөгінді қабаттардың жас тобына орайластырылуы көрсетілген. Солтүстік Қарамандыбас күмбезді құрылымының жергілікті дөңесі құрылымдық планының қозғалысы шамамен юра қабатының үсті, төмен жатқан төменгі триас жыныстарынан солтүстік-шығысқа қарай 1 км қозғалғандығы айқындалды. Триас және палеозой қабаттарынан көмірсутектің жаңа шоғырын ашу тәуеклі жасалынды.

**Түйін сөздер:** Солтүстік Қарамандыбас кенорны, шоғырлар, мұнай, шөгінді бассейндер, юра, триас, изогипстер, шағылдырушы горизонт, ашу, брахиантиклиналь, көмірсутектер.

**С. М. Оздоев, Н. Тлеуберди**

Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

**ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ УВЕЛИЧЕНИЯ ЗАПАСОВ НЕФТЕДОБЫЧИ  
НА МЕСТОРОЖДЕНИИ СЕВЕРНЫЙ КАРАМАНДЫБАС**

**Аннотация.** Рассмотрено геологическое строение нефтяного месторождения Северный Карамандыбас, его нефтеносные залежи, их приуроченность к возрастным группам осадочных толщ. Выяснено смещение структурного плана локального поднятия купола структуры Северный Карамандыбас относительно поверхности юрских отложений по ниже залегающим породам нижнего триаса на 1 км к Севере-Востоку. Исключен риск открытия новых залежей углеводородов в триасовых и палеозойских отложениях.

**Ключевые слова:** месторождение Северный Карамандыбас, залежи, нефть, осадочные бассейны, юра, триас, изогипсы, отражающие горизонты, открытие, брахиантиклиналь, углеводороды.



## МАЗМҰНЫ

### Аймақтық геология

<i>Сейтмуратова Э.Ю., Гоганова Л.А., Ляпичев Г.Ф., Марфенкова М.М., Жаймина В.Я., Сайдашева Ф.Ф., Баратов Р.Т., Даутбеков Д.О.</i> Тас көмір және пермь – Қазақстан континенталды қыртысы құралуын тәмамдайтын этап.....	5
--	---

### Минералогия, болжамдар, перспективалар

<i>Жаймина В.Я.</i> Қарамұрын стратоденгейлері мен кеннің минералдануы (Оңтүстік Қазақстан).....	20
<i>Скринник Л.И., Кошкин А.В., Аманбаев Р.А., Булегенов К.У., Силачев И.Ю., Гадеев Р.Р., Перезовов С.В., Плехова К.Р.</i> Үлкен Алматы өзенінің (Солтүстік Тянь-Шань) жоғарғы ағысындағы алтындылығы жайлы сұрақтар.....	35

### Мұнай және газ

<i>Аубакиров А.А., Жамауов Ж.Қ., Аймагамбетов М.Ө., Панкратов В.Ф., Есқожа Б.А.</i> Каспий маңы ойпатының оңтүстік-шығысында жоғарғы девон құрылымын геологиялық зерттеудің алғашқы нәтижелері.....	43
<i>Фазылов Е.М., Мусина Э.С.</i> Кендерлі кенорнының жанартау тектік-шөгінді фациялары, ортаңғы-кейінгі тасты-көмірқабаттары және жанғыш тактатастар қабаттарының құрылуы рөлі.....	56

### Гидрогеология

<i>Вялов В.Д., Кан С.М., Құрманғалиева Ш.Г.</i> Шонжы-Дубун шоқысының шөгінді құндағының геотермалды ерісі.....	65
---	----

### Экология

<i>Крупа Е.Г., Романова С.М.</i> Оңтүстік-Қазақстан облыстық аймағындағы Арыс өзені мен су қоймасының гидрохимиясы.....	77
---	----

### Әдістеме

<i>Исабеков Р.Б., Итемен Н.М., Құрманғалиева Ш.Г.</i> Табиғи тұздықсулардан стронцийді алу технологиясын талдау.....	90
--	----

### Техникалық ғылымдар

<i>Машеков С.А., Абсадықов Б.Н., Нуртазаев А.Е., Машекова А.С., Нугман Е.З., Рахматуллин М.Л., Полецук А.И.</i> Бойлық-сыналы орнақта жолақтарды илемдеу процесін компьютерде модельдеп аса ауыр жүктелген элементтерінің беріктігін есептеу.....	98
<i>Ибраев А.Т., Сағындық Ә.Б.</i> Қорапты катод линзасының абберрациялық коэффициенттеріне есептік зерттеу.....	108
<i>Алтынбек Ш.Ч., Болотова Л.С., Байқоңырова Ә.Ө.</i> Алтынды поликомпонентті ерітінділерден өндіру барысында анионоалмастырғыш шайырлардың алтынға қатысты сорбциялық сипаттамаларын зерттеу.....	115
<i>Билецкий М.Т., Ратов Б.Т., Байбоз А.Р.</i> Бұрғылау ерітіндісінің тұтқырлығының шартты жағдайда автоматты түрде өлшеудің ғылыми дәлелденуі.....	123
<i>Сүрімбаев Б.Н., Байқоңырова Ә.Ө., Болотова Л.С.</i> Қазақстан Республикасындағы алтынқұрамды өнімдерді қарқынды цианирлеу үрдісінің дамуының болашағы.....	133
<i>Азаматов Б.Н., Ожикенев Қ.А., Азаматова Ж.Қ.</i> Дизельді қозғалтқыштар үшін каталитикалық СВС-блокларда палладийді қолданудың тиімділігін бағалау.....	142
<i>Телтаев Б.Б.</i> Асфальтбетон жамылғысының шаршау деструкциясы. 2. Термодинамика.....	148
<i>Федоров Б.В., Ратов Б.Т., Шарауова А.Б.</i> Өзен мұнайгаз кен орнын PDC қашауы мен ұңғыны бұрғылаудың моделі.....	170
<i>Шевко В.М., Айтқұлов Д.К., Атамқұлов Б.Б., Избасханов К.С., Найманбаев М.А.</i> Ащысай кен орнының кейбір оксидті кендерін кешкнді электротермиялық қайта өңдеу.....	177
<i>Бирюкова А.А., Вакалова Т.В., Жиеналыев Т.Д., Тихонова Т.А.</i> Мұнай-газ өнеркәсібі үшін Қазақстан шикізатынан керамикалық пропантар.....	184
<i>Онаев М.И., Уласюк С.М., Найманбаев М.А., Маркаев Е.К., Касымжанов К.К.</i> Ильменитті хромы бар концентраттан темір мен хромды алу.....	192
<i>Найманбаев М.А., Лохова Н.Г., Квятковская М.Н., Балтабекова Ж.А., Баркытова А.Е.</i> Гидратты диоксид титанының термоөңдеу процесі кезіндегі фазалық өзгерісі.....	200
<i>Бахтаев Ш.А., Бочкарева Г.В., Мусатирова Г.Д.</i> Тәждеуші разрядтағы микроөлшемдерді жанаспай өлшеуіштер.....	208

Қожа Е., Смағұлов Д.У., Ахметова Г.Е., Қомбаев К.К. Болатты электролитті-плазмалық өңдеуге арналған лабораториялық қондырғы.....	219
Байконуров Е.Г., Усольцева Г.А., Чернышова О.В., Дробот Д.В., Ақпанбаев Р.С. Минералды қышқылдар ерітінділерімен ЖС32-ВИ никельқұрамды қайталама қызуға берік қорытпасы еру ықтималдылығының термодинамикалық бағасы.....	225
Абдурахманов А.А., Бахтаев Ш.А., Боқанова Ә.Ә., Матаев У. Үйдегі ауаның құс фабрикасы құрылғыны тазалауға арналған.....	233
Адилбаева Т.Е., Таловская А.В., Язиков Е.Г. Қар жинау негізінде қарағанды қаласы жылу электр станциясының (ЖЭС-3) төңірегіндегі аэротехногенді ластануды бағалау (Қазақстан Республикасы).....	237
Мырхалыков Ж.У., Бажиров Т.С., Кемалов А.Ф., Кемалов Р.А., Сырманова К.К., Ботаев Е.Т. Битумды окшаулағыш материалдарын кешенді түрлендіру технологиясы.....	248
Салихов Т.Қ. Батыс Қазақстан облысында жобаланған «Бөкейорда» мемлекеттік табиғи резерват аумағының топырағына жүргізілген далалық және мониторингтік зерттеулері.....	258
Оздоев С.М., Маширапова М.Ә. Арыстан кенорнының геологиялық құрылымы және өнімді қабаттарының мұнайбергіштігін арттыру әдістері.....	270
Оздоев С.М., Тілеуберді Н. Солтүстік Қарамандыбас кенорнының мұнай өндірісі қорын арттырудың геологиялық алғышарты.....	276

## СОДЕРЖАНИЕ

**Региональная геология**

*Сейтмуратова Э.Ю., Гоганова Л.А., Ляпичев Г.Ф., Марфенкова М.М., Жаймина В.Я., Сайдашиева Ф.Ф., Баратов Р.Т., Даутбеков Д.О.* Становление континентальной коры Казахстана в позднепалеозойское время.....5

**Минералогия, прогнозы, перспективы**

*Жаймина В.Я.* Стратоуровни и рудная минерализация Карамуруна (Южный Казахстан).....20  
*Скринник Л.И., Кошкин А.В., Аманбаев Р.А., Булегенов К.У., Силачев И.Ю., Гадеев Р.Р., Перевозов С.В., Плехова К.Р.* Вопросы золотоносности верховьев р. Большая Алматинка (Северный Тянь-Шань).....35

**Нефть и газ**

*Аубакиров А.А., Жамауов Ж.К., Аймагамбетов М.У., Панкратов В.Ф., Ескожа Б.А.* О первых геологических результатах целенаправленного изучения пород верхнего девона на юго-востоке Прикаспийской впадины.....43  
*Фазылов Е.М., Мусина Э.С.* Вулканогенно-осадочные фации средне-позднекаменноугольных отложений месторождения Кендерлык и их роль в образовании пластов горючих сланцев.....56

**Гидрогеология**

*Вялов В.Д., Кан С.М., Курмангалиева Ш.Г.* Геотермическое поле осадочного чехла Чунджа-Дубунского выступа (Жаркентская впадина).....65

**Экология**

*Крупа Е.Г., Романова С.М.* Гидрохимия водоемов бассейна реки Арысь на территории Южно-Казахстанской области.....77

**Методика**

*Исабеков Р.Б., Итемен Н.М., Курмангалиева Ш.Г.* Анализ технологий извлечения стронция из природных рассолов.....90

**Технические науки**

*Машеков С.А., Абсадыков Б.Н., Нуртазаев А.Е., Машекова А.С., Нугман Е.З., Рахматуллин М.Л., Полецук А.И.* Компьютерное моделирование процесса прокатки полос в продольно-клиновом стане и расчет прочности его тяжело нагруженных элементов.....98  
*Ибраев А.Т., Сағындық А.Б.* Численное исследование абберационных коэффициентов коробчатой катодной линзы.....108  
*Алтынбек Ш.Ч., Болотова Л.С., Байконурова А.О.* Исследование сорбционных характеристик анионообменных смол, относящихся к золоту, и его извлечения из поликомпонентных растворов.....115  
*Билецкий М.Т., Ратов Б.Т., Байбоз А.Р.* Научное обоснование работы автоматического измерителя условной вязкости бурового раствора.....123  
*Сурымбаев Б.Н., Байконурова А.О., Болотова Л.С.* Перспективы развития процесса интенсивного цианирования золотосодержащих продуктов в Республике Казахстан.....133  
*Азаматов Б.Н., Ожикенев К.А., Азаматова Ж.К.* Оценка эффективности использования палладия в каталитических СВС-блоках для дизельных двигателей.....142  
*Телтаев Б.Б.* Усталостная деструкция асфальтобетонного покрытия. 2. Термодинамика.....148  
*Федоров Б.В., Ратов Б.Т., Шаруова А.Б.* Модель буримости долотами PDC для проходки скважин на нефтегазовом месторождении Узень.....170  
*Шевко В.М., Айткулов Д.К., Атамкулов Б.Б., Избасханов К.С., Найманбаев М.А.* Комплексная электротермическая переработка бедной оксидной руды Ачисайского месторождения.....177  
*Бирюкова А.А., Вакалова Т.В., Джиеналыев Т.Д., Тихонова Т.А.* Керамические пропанты из сырья Казахстана для нефтегазодобывающей промышленности.....184  
*Онаев М.И., Уласюк С.М., Найманбаев М.А., Маркаев Е.К., Касымжанов К.К.* Извлечение железа и хрома из ильменитового хромсодержащего концентрата.....192  
*Найманбаев М.А., Лохова Н.Г., Квятковская М.Н., Балтабекова Ж.А., Баркытова А.Е.* Фазовые превращения гидратированного диоксида титана при термообработке.....200  
*Бахтаев Ш.А., Бочкарева Г.В., Мусатирова Г.Д.* Бесконтактные измерители микроразмеров на коронном разряде.....208

<i>Кожя Е., Смагулов Д.У., Ахметова Г.Е., Комбаев К.К.</i> Лабораторная установка для электролитно-плазменной обработки стали.....	219
<i>Байконуров Е.Г., Усольцева Г.А., Чернышова О.В., Дробот Д.В., Акпанбаев Р.С.</i> Термодинамическая оценка вероятности растворения вторичного жаропрочного никельсодержащего сплава ЖС32-ВИ растворами минеральных кислот.....	225
<i>Абдурахманов А.А., Бахтаев Ш.А., Боканова А.А., Матаев У.</i> Устройство для очистки воздуха помещений птицефабрик.....	233
<i>Адилбаева Т.Е., Таловская А.В., Язиков Е.Г.</i> Оценка аэротехногенного загрязнения в окрестностях теплоэлектростанции (ТЭЦ-3) г. Караганды по данным снеговой съемки (Республика Казахстан).....	237
<i>Мырхальков Ж.У., Бажиров Т.С., Кемалов А.Ф., Кемалов Р.А., Сырманова К.К., Ботаев Е.Т.</i> Технология комплексной модификации битумных изоляционных материалов.....	248
<i>Салихов Т.К.</i> Полевые и мониторинговые исследования почв на территории проектируемого государственного природного резервата «Бокейорда» Западно-Казахстанской области.....	258
<i>Оздоев С.М., Машрапова М.А.</i> Геологическое строение и методы повышения нефтеотдачи продуктивных горизонтов Арыстановского месторождения.....	270
<i>Оздоев С.М., Тлеуберди Н.</i> Геологические предпосылки увеличения запасов нефтедобычи на месторождении Северный Карамандыбас.....	276

## CONTENTS

**Regional geology**

- Sejtmuratova E.Ju., Goganova L.A., Ljapichev G.F., Marfenkova M.M., Zhaymina V.Ya., Sajdasheva F.F., Baratov R.T., Dautbekov D.O.* Carboniferous and permian - the final stage of formation of continental crust Kazakhstan..... 5

**Metallogeny, forecasts, perspectives**

- Zhaimina V.Ya.* Stratigraphical levels and ore mineralization of the Karamurun (Southern Kazakhstan)..... 20  
*Skrinnik L.I., Koshkin A.V., Amanbaev R.A., Bulegenov K.U., Silachyov I.Yu., Gadeev R.R., Perevozov S.V., Plehova K.R.* On gold-bearing of upper courses of the Large Almatinka river (Northern Tien Shan)..... 35

**Oil and gas**

- Aubakirov A.A., Zhamauov Zh.K., Aimagambetov M.U., Pankratov V.F., Yeskozha B.A.* On initial geological results of the target study of the upper devonian formations of the south eastern Pre-Caspian basin..... 43  
*Fazylov E.M., Musina E.S.* The magmatic-sedimentary facies of Kenderlik middle-late carboniferous sediments and their role in the formation of oil shale facilities..... 56

**Hydrogeology**

- Vyalov V.D., Kan S.M., Kurmangaliyeva Sh.G.* Geothermal field sedimentary cover Chundzha-Dubun protrusion (Zharkent depression)..... 65

**Ecology**

- Krupa E.G., Romanova S.M.* Hydrochemistry of reservoirs of the river basin of Arys in the territory of the Southern Kazakhstan area..... 77

**Methods**

- Isabekov R.B., Itemen N.M., Kurmangaliyeva Sh.G.* Analysis technology of extraction strontium from natural brine..... 90

**Engineering sciences**

- Mashekov S.A., Absadykov B.N., Nurtazayev A.E., Masheкова A.S., Nugman E.Z., Rakhmatullin M.L., Polechuk A.I.* Computer modelling of the strips rolling process in the longitudinal-wedge mill and calculation of it heavy-duty elements durability..... 98  
*Ibraev A.T., Sagyndyk A.B.* Numerical investigation of the aberrational coefficients of a box shaped cathode lens..... 108  
*Altynbek Sh.Ch., Bolotova L.S., Baikonurova A.O.* Investigation of sorption characteristics of anion exchange resins related to gold at its extraction from polycomponent solutions..... 115  
*Biletsky M.T., Ratov B.T., Bayboz A.R.* Theoretical justification of an automatic device for drilling mud funnel viscosity measurement..... 123  
*Surimbayev B.N., Baikonurova A.O., Bolotova L.S.* Prospects for the development of the process of intensive cyanidation of gold-containing products in the Republic of Kazakhstan..... 133  
*Azamatov B.N., Ozhikenov K.A., Azamatova Zh.K.* Assessment of the effectiveness of the use of palladium in catalytic SHS-units for diesel engines..... 142  
*Teltayev B.B.* Fatigue destruction of asphalt concrete pavement. 2. Thermodynamics..... 148  
*Fedorov B.V., Ratov B.T., Sharauova A.B.* Model of purification of PDC bolts for walking wells on oil-gas field name... 170  
*Shevko V.M., Aytkulov D.K., Atamkulov B.B., Izbaskhanov K.S., Naimanbaev M.A.* Complex electrothermic processing of the poor oxide ore of the Achisay deposit..... 177  
*Biryukova A.A., Vakalova T.V., Dzhienalyev T.D., Tihonova T.A.* Ceramic proppants from raw materials of Kazakhstan for oil and gas industry..... 184  
*Onayev M.I., Ulasjuk S.M., Naimanbayev M.A., Markayev Ye.K., Kasyzhanov K.K.* Extraction of iron and chrome from ilmenite chromium-containing concentrate..... 192  
*Naimanbayev M.A., Lohova N.G., Kviatkovskaja M.N., Baltabekova Zh.A., Barkytova A.E.* Phase transformations of hydrated titanium dioxide at thermal processing..... 200  
*Bahtaev Sh.A., Bochkareva G.V., Musapirova G.D.* Non-contact measurement meters of micro-sizes on coronary discharge..... 208  
*Kozha E., Smagulov D.U., Akhmetova G.E., Kombayev K.K.* Laboratory installation for electrolytic-plasma treatment of steel..... 219  
*Baikonurov E.G., Usoltseva G.A., Chernyshova O.V., Drobot D.V., Akpanbayev R.S.* Thermodynamic evaluation of probability of dissolution of secondary heat-resistant nickel-containing alloy GS32-VI by mineral acids solutions..... 225

<i>Abdurrahmanov A.A., Bahtaev S.A., Bokanova A.A., Mataev U.</i> Device for purification of airs of poultry plants.....	233
<i>Adil'bayeva T.E., Talovskaya A.V., Yazikov Y.G.</i> Estimation of aerotechnical pollution in the vicinity of the thermal power plant (TPP-3) in Karaganda according to snow survey (Republic Of Kazakhstan).....	237
<i>Myrkhalykov Zh.U., Bazhirov T.S., Kemalov A.F., Kemalov R.A., Syrmanova K.K., Botashev Ye.T.</i> Complex modification technology of bituminous insulating materials.....	248
<i>Salikhov T.K.</i> The field studies and monitoring soil on the territory of the planned state nature reserve "Bokeyorda" West Kazakhstan region.....	258
<i>Ozdoyev S.M., Mashrapova M.A.</i> Geological structure and methods of increasing oil recovery of the productive horizons of the Arystan deposit.....	270
<i>Ozdoyev S.M., Tileuberdi N.</i> The geological prerequisites for increasing oil production at the North Karamandybas field.....	276

## Требования для авторов журнала НАН РК Серия геологии и технических наук

### *Уважаемые авторы!*

Прошло более семидесятипяти лет, как издается журнал «Известия НАН РК. Серия геологическая», а с 2011 г. «Серия геологии и технических наук». За период существования журнал завоевал широкий круг читателей и стал известен не только в Казахстане, но и в странах ближнего и дальнего зарубежья.

В журнале на русском, казахском, английском языках публикуются статьи о результатах исследований по актуальным проблемам обширной геологической науки (региональной геологии, минералогии, нефти и газа, геофизики, сейсмологии, гидрогеологии, экологии, географии), а так же статьи методического характера.

Все эти годы журнал служит источником оперативной информации о новейших достижениях геологической науки Казахстана и призван способствовать повышению эффективности научных исследований.

Авторы несут ответственность за достоверность и значимость научных результатов и актуальность научного содержания работ. Не допускается плагиат.

**1.** Представленные для опубликования материалы должны удовлетворять следующим требованиям.

Статья сопровождается разрешением на опубликование от учреждения, в котором выполнено исследование и представляется рецензия.

Статья представляется в одном экземпляре. Размер статьи не должен превышать 15 страниц включая аннотацию в начале статьи перед основным текстом, которая должна отражать цель работы, метод или методологию проведения работы, результаты работы, область применения результатов, выводы (**аннотация** не менее 15 предложений – 1/4 стр. (на английском языке) через 1 компьютерный интервал), таблицы, рисунки, список литературы (через 1 компьютерный интервал), напечатанных в редакторе Word, шрифтом Times New Roman, поля – верхнее и нижнее – 2 см, левое – 3 см, правое – 1,5 см. Количество рисунков не более 10. Название рисунков и подрисуночная подпись, а также название таблиц печатается на русском и английском языках.

**СТАТЬЯ НАЧИНАЕТСЯ на английском языке.** В начале, посередине страницы, идет название статьи прописными жирными буквами, далее на следующей строчке – инициалы и фамилии авторов обычным жирным шрифтом, затем на следующей строчке – название организации(ий), в которой выполнена работа, город, страна, затем на новой строчке – адреса E-mail авторов. С красной строки идут ключевые слова (**Key words**), и с новой строчке – сама аннотация (**Abstract – не менее 150 слов**).

Далее, после отбивки одной строки, начинается на **русском языке**.

В начале статьи вверху слева следует указать индекс **УДК**. Затем, посередине страницы, пишется: 1) название статьи; 2) авторы; 3) название организации; с красной строки – **Ключевые слова**, затем – **Аннотация** ( оформление шрифтов, как на английском языке ).

Отбиваем одну строку и начинается сама **статья**. Следом за статьей идет список **Литературы**. Ссылки на литературные источники даются цифрами в прямых скобках по мере упоминания ( не менее 20). Список литературы оформляется следующим образом:

[1] Иванов А.А. Процессы протаивания грунта // Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук. – 2007. – № 1. – С. 16-19.

На сайте <http://www.translit.ru/> можно бесплатно воспользоваться программой транслитерации Русского текста в латиницу, используя различные системы. Программа очень простая, ее легко использовать для готовых ссылок. К примеру, выбрав вариант системы Библиотеки Конгресса США (LC), мы получаем изображение всех буквенных соответствий. Вставляем в специальное поле весь текст библиографии на русском языке и

1) убираем транслитерацию заглавия статьи;

- 2) убираем специальные разделители между полями (“/”, “-”);
- 3) выделяем курсивом название источника;
- 4) выделяем год полужирным шрифтом;
- 5) указываем язык статьи (in Russ.).

Пример:

[1] White S.R., Sottos N.R., Geubelle P.H., Moore J.S., Kessler M.R., Sriram S.R., Brown E.N., Viswanathan S. *Nature*, **2001**, 409, 794-797 ( in Eng.).

[2] Soldatenkov N.M., Koljadina I.V., Shendrik A.T. Fundamentals of organic chemistry of medicinal substances. M.: Himija, **2001**. 192 p. ( in Russ.).

В конце статьи дается резюме на казахском языке. Оформляется аналогично русскому варианту. Посередине страницы пишется: 1) название статьи; 2) авторы; 3) название организации; с красной строки – **Түйін сөздер**, после – **Аннотация**.

Последняя страница подписывается всеми авторами, ставится дата. Прилагается электронный вариант на CD – диске.

**2.** В случае переработки статьи по просьбе редакционной коллегии журнала датой поступления считается дата получения редакцией окончательного варианта. Если статья отклонена, редакция сохраняет за собой право не вести дискуссию по мотивам отклонения.

Просьба к авторам статей представлять весь материал в одном документе (одном файле) и точно следовать правилам при оформлении статьи.

Мы приглашаем к сотрудничеству всех заинтересованных лиц, желающих поделиться своими идеями, мыслями и фактическими материалами на страницах нашего журнала. Пишите нам, звоните или присылайте по электронной почте.

Наш адрес:

Республика Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Кабанбай батыра, 69а.

Институт геологических наук им.К.И.Сатпаева, ком.334.

Контактный телефон: 8 (727) 291-59-38

Факс: 8 (727) 291-56-79

Электронная почта: [ignkis@mail.ru](mailto:ignkis@mail.ru)

### **Уважаемые авторы!**

В настоящее время около 250 казахстанских вузов и научных организаций имеют доступ к информационным ресурсам авторитетных международных компаний таких как Thompson Reuters и Springer. За последние четыре года обращений казахстанских подписчиков, согласно статистике использования ресурса Web of Science Core Collection компании Thompson Reuters, увеличилось в 4 раза. Доступ к мировым базам научных знаний был определен президентом Нурсултаном Назарбаевым как один из приоритетных инструментов развития науки на Первом форуме ученых в декабре 2011 года.

Публикации казахстанских ученых входят в 1% самых высокоцитируемых статей в мире.

При цитировании опирайтесь на более современные данные, собственные труды по возможности указывать в меньшем количестве, использовать поиск источников информации международных ресурсов.



---

---

**Publication Ethics and Publication Malpractice  
in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct ([http://publicationethics.org/files/u2/New\\_Code.pdf](http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf)). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

[www:nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)

**ISSN 2518-170X (Online), ISSN 2224-5278 (Print)**

<http://geolog-technical.kz/index.php/kz/>

Верстка *Д. Н. Калкабековой*

Подписано в печать 11.07.2017.  
Формат 70x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.  
18,2 п.л. Тираж 300. Заказ 4.