

зарегистрирован Министерством культуры и информации Республики Казахстан 04.04.2013 г.
 Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания 13508-Ж.

Издается с января 2003 г.

Приказом № 603 от 12.07.2024 г. Комитета по контролю в сфере образования и науки МОН РК внесен в перечень научных изданий, рекомендуемых для публикации основных результатов научной деятельности.

В журнале публикуются материалы, отражающие состояние и перспективы развития геологии, горного дела и металлургии не только в нашей стране, но и за рубежом. Журнал освещает проблемы охраны труда и техники безопасности, экономики, подготовки кадров и других вопросов, связанных с горно-металлургическим комплексом. В журнале представлены статьи прикладного характера, результаты фундаментальных исследований, служащие основой для новых технических разработок.

При перепечатке материалов ссылка на Горный журнал Казахстана обязательна. Ответственность за достоверность сведений в публикуемых статьях и рекламных материалах несут авторы и рекламодатели. Мнение редакции не всегда может совпадать с мнением авторов.

Адрес редакции:
 050026, г. Алматы, ул. Карасай батыра, 146, оф. 401,
 +7 (747) 343-15-02
minmag.kz

Представитель журнала на специализированных мероприятиях – Общество с ограниченной ответственностью «Маркетинг от Тимченко»

Представители журнала:

Республика Узбекистан –
 ШЕРЗОД ВАФО-ОГЛЫ КАРИМОВ
karimov20-13@mail.ru

Российская Федерация, Сибирский регион –
 ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ ШАПОШНИК
shaposhnikyury@mail.ru

Периодичность 12 номеров в год

Тираж 1500 экземпляров

ISSN 2227-4766

Подписной индекс 75807 в каталогах:
 АО «Казпочта»,
 ТОО «Агентство «Евразия пресс»

Подписано в печать 30.01.2026 г.

Отпечатано:
 «Print House Geron»
 ул. Сатпаева 30А/3, офис 124
 тел: + 7 727 250-47-40,
 + 7 727 398-94-59,
 факс: + 7 727 250-47-39

УЧРЕДИТЕЛЬ И СОБСТВЕННИК
 ТОО «Научно-производственное
 предприятие «ИНТЕРРИН»



Главный редактор

М.Ж. БИТИМБАЕВ, mbitimbaev@mail.ru

Заместитель гл. редактора

Л.А. КРУПНИК, leonkr38@mail.ru

Заместитель гл. редактора

Х.А. ЮСУПОВ, yusupov_kh@mail.ru

Ответственный редактор

Т.С. ДОЛИНА, Tatyana.Dolina@interrin.kz

Редакционная коллегия:

Барменишинова М.Б., канд. техн. наук, ассоц. профессор

Бекботаева А.А., PhD, ассоц. профессор

Бондаренко В.И., д-р техн. наук, профессор (Украина)

Vach K., доктор Ph.D (Чехия)

Демин В.Ф., д-р техн. наук, профессор

Каримов Ш.В., PhD, и.о. доцента кафедры (Узбекистан)

Кожогулов К.Ч., д-р техн. наук, профессор, засл. деятель науки КР, академик (Кыргызская Республика)

Levin E., доктор Ph.D, ассоц. профессор (США)

Mishra V.M., профессор (США)

Молдабаев С.К., д-р техн. наук, профессор

Nikoloski A.N., профессор (Австралия)

Петров Е.А., д-р техн. наук, профессор (Россия)

Ратов Б.Т., д-р техн. наук, профессор

Рысбеков К.Б., канд. техн. наук, профессор

Sladkovsky A., д-р техн. наук, профессор (Польша)

Столповских И.Н., д-р техн. наук, профессор

Тамбиев П.Г., канд. техн. наук

Хайитов О.Г., д-р геол.-минерал. наук, профессор, академик (Узбекистан)

Ченуштанова Т.А., PhD

Уененх А.М., ассоц. профессор (Оман)

® – статья на правах рекламы

ⓘ – информационное сообщение

✍ – статья публикуется в авторской редакции

- 3 Колонка главного редактора
- Геотехнология**
- 4 *А.М. Габитова, З.Ж. Абдрашева, Е.А. Абеуов, А.И. Ананин
Өндірілген кен орындарын жоғары тығыздықтағы байыту қалдықтарымен толтыру
- 10 Р.А. Мусин, *Н.М. Замалиев, Д.Р. Ахматнуров, Э.Д. Решетняков
Многостадийные технологии извлечения угольного метана: результаты лабораторных и опытно-промышленных исследований
- Геология**
- 17 *А.У. Ашууров, С.С. Мурашкин
Аэрогаммаспектрометрия (уран, калий, торий) в районе гор Букантау: обработка аэрогаммаспектрометрических данных и перспективы исследований
- 25 М.А. Mizernaya, *В.В. Agaliev, Zh.A. Shayakhmetova, Y.T. Yeskaliyev
Features of the microelement composition of ore of the Artemyevskoye deposit (Rudny Altai)
- Геомеханика**
- 31 О.Г. Бесимбаева, Е.Н. Хмырова, *М.Б. Игемберлина, Г.Е. Жуносова
Наблюдения за состоянием зданий и сооружений в районах подземной разработки угольных месторождений
- Гидрогеология**
- 38 R. Kenzhebay, *D. Uteeva, E. Zhumadilova, G. Baimukasheva
Assessment of the potential of sustainable water resources management in Kazakhstan's mining regions
- Обогащение полезных ископаемых**
- 48 *Е.М. Карманов, М.Б. Барменишинова, Р.В. Шарипов
К вопросу комплексного изучения элементного и фазового состава медного флотационного концентрата
- Металлургия**
- 55 *А.Т. Mamutova, T.A. Chepushtanova, B. Mishra
Thermodynamic prediction of the technological conditions for producing the Ti-10V-2Fe-3Al alloy by vacuum arc remelting
- Геоэкология**
- 61 *Д.К. Сунакбаева
Геоэкологическая оценка и рекультивация деградированных земель Южного Казахстана
- 68 Л.М. Оралбекова, *Г.Д. Кенжалиева, Е.Н. Кочеров, А.Д. Байботаева
Қоршаған ортаға тигізетін әсерін анықтау үшін қалдықтардың құрамын зерттеу
- Страницы истории и науки**
- 74 М.Н. Бегентаев, *А.Б. Байбатша, Б.Б. Амралинова, К.С. Тогизов
Актуальность изучения наследия академика К.И. Сатпаева
- 80 Требования к оформлению и условия предоставления статей

КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА



**Марат
Жакупович
Битимбаев**
главный редактор

*Уважаемая редколлегия!
Дорогие читатели!*

Вы все, в т. ч. и зарубежные члены редколлегии, я думаю, всегда живете надеждами и чаяниями казахстанского народа, поэтому бурное и исключительно ответственное для судеб нашей страны начало 2026-го года стало предметом обсуждений и раздумий каждого из нас в широком кругу общественности и в «посиделках» своих семей.

Президент Касым-Жомарт Кемелевич Токаев в своем обширном интервью газете «Turkistan», и в выступлении на пятом форуме Национального Курултая сделал важные заявления и объявил об уже принятых решениях по широкому кругу вопросов, в первую очередь, по внутреннему развитию нашего государственного устройства, по итогам прошлого года, по насущным проблемам, волнующим каждого из нас.

Пятый форум Национального Курултая стал самым насыщенным по своей важности. Диалог власти и представителей общественности на высшем уровне поставил точки и на очередном этапе самого Курултая как исторического события в последний раз в том его значении, которое означало его общественный всенародный статус. Теперь Курултаем будет именоваться политический законодательный орган государства – однопалатный парламент.

Одним из наиболее резонансных и неожиданных предложений стала идея введения должности вице-президента. В стране вместо прежнего Курултая появится Халық Кеңесі – Народный Совет в качестве высшего консультативного органа с представленностью в нем всех этносов, групп населения и регионов.

Новый этап модернизации экономики, тема налоговой реформы, вопросы снижения инфляции и роста благосостояния граждан, структурные изменения, обновление инфраструктуры, транзит и логистика, и конечно, развитие сельского хозяйства и его место в ценообразовании и обеспечении населения продуктами питания по доступным ценам и высокого качества.

Основная концепция «Сильный Президент – Влиятельный Парламент – Подотчетное Правительство» остается в силе и будет действовать как основа нашей государственности.

Президент в своем интервью обещает, что наступивший год станет судьбоносным, состоится очень много важных событий, которые определят вектор развития Казахстана на долгие годы.

Дорогие друзья! 35 лет нашей Независимости – знаковая дата, и нам всем важно, чтобы предстоящий юбилей стал символом прогресса нашей страны.

Код МРНТИ 52.13.05

*А.М. Габитова¹, З.Ж. Абдрашева¹, Е.А. Абеуов², А.И. Ананин³¹Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті (Өскемен қ., Қазақстан),²Ә. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан),³РМК «ҚР МШКӨ ҰО» «ШФЗТКМИ түстімет» (Өскемен қ., Қазақстан)

ӨНДІРІЛГЕН КЕН ОРЫНДАРЫН ЖОҒАРЫ ТЫҒЫЗДЫҚТАҒЫ БАЙЫТУ ҚАЛДЫҚТАРЫМЕН ТОЛТЫРУ

Аннотация. Кен орындарын ұзақ уақыт пайдалану барысында жинақталған байыту қалдықтарының көлемі жүздеген миллион текше метрге дейін жетеді. Мұндай ірі көлемдегі қалдықтарды сақтау ауыл шаруашылығы, орман және басқа да маңызды жер қорларынан бағалы аумақтарды шығарып тастауға әкеледі. Сондықтан қалдық қоймаларын орналастыру мәселесі экологиялық және техникалық тұрғыдан өзекті болып отыр. Жүргізілген зерттеулер байыту қалдықтарын қайта пайдалану мүмкіндігін, әсіресе толтырмалау үшін қоюландырылған қалдықтарды қолданудың тиімді екенін көрсетті. Қоюландыру процесі қалдықтардың жалпы мөлшерін азайтып, суды қайталама қолдану арқылы су ресурстарын үнемдеуге мүмкіндік береді. Сонымен бірге ұзақ уақыт бойы сұйылтылған күйінде тұрақты сақталатын, қабыршақтанбайтын, жақсы реологиялық қасиеттерге ие икемді пасталық материал алынады, бұл оны жер асты кеністігін қауіпсіз толтыруда қолдануға жағдай жасайды.

Түйінді сөздер: паста, толтырым, жерасты жұмыстар, қазылған кеңістік, байыту қалдықтары, «қоюлатылған» қалдықтар.

Laying of mined-out mine spaces with high-density enrichment tailings

Abstract. During long-term ore mining, enrichment tailings can accumulate to hundreds of millions of cubic meters, and their storage demands large land areas, creating environmental and technical challenges. Research demonstrates that reusing tailings – particularly thickened tailings – is an effective backfilling approach. Thickening reduces waste volume, conserves water, and produces a stable paste-like material that remains uniform without segregation, ensuring safe filling of mined-out spaces. Thickened tailings also improve backfill stability, lower subsidence risks, and enhance underground safety. Their controlled consistency allows reliable, energy-efficient pipeline transport. Integrating tailings into backfill supports sustainable mining by reducing waste-storage areas and decreasing the need for natural aggregates, making thickened tailings a valuable solution for modern mining operations.

Key words: paste, bookmark, underground mining, enrichment tails, «condensed» tails.

Закладка выработанных пространств рудников хвостами обогащения высокой плотности

Аннотация. Объем отходов обогащения при эксплуатации рудных месторождений может достигать сотен миллионов кубических метров. Их длительное хранение требует отвода значительных площадей под хвостохранилища, усиливая экологическую нагрузку и повышая затраты на защитные гидротехнические сооружения. Опыт показывает, что одним из наиболее эффективных решений является использование «сгущенных» хвостов в закладочных смесях. Сгущение снижает общий объем отходов, повышает степень обезвоживания и позволяет возвращать большую часть воды в оборот. Полученный материал обладает стабильной текучестью и однородной структурой, может длительно оставаться в разжиженном состоянии без расслоения, что облегчает его транспортировку и укладку в выработанное пространство. Применение сгущенных хвостов повышает безопасность горных работ, улучшает устойчивость закладочного массива и снижает экологическое воздействие предприятий.

Ключевые слова: паста, закладка, подземная разработка, выработанное пространство, хвосты обогащения, «сгущенные» хвосты.

Кіріспе

Қазіргі таңда жер қойнауын тиімді және экологиялық қауіпсіз пайдалану әлемдік тау-кен өнеркәсібі үшін стратегиялық маңызға ие. Кен өндіру көлемінің артуы мен байыту процестерінің күрделенуі нәтижесінде қалдықтардың жиналуы жедел өсіп, олардың көлемі жүздеген миллион текше метрге дейін жетеді. Мұндай қалдықтарды дәстүрлі әдістермен сақтау – құнды жер қорларын пайдаланудан шығару, экологиялық тәуекелдердің артуы және қосымша инфрақұрылымдық шығындардың ұлғаюы сияқты бірқатар күрделі мәселелерді туындатады [1, 2, 3].

Соңғы жылдары байыту қалдықтарын қайта өңдеп, оларды жер асты кеңістіктерін толтыруда қолдану бағытында ғылыми қызығушылық артып келеді. Зерттеу нәтижелері көптеген шахталарда пасталық толтырмаларды сорғыларды қолданбай-ақ құбыр арқылы тасымалдау мүмкін екенін көрсетті, бұл технологиялық және экономикалық тиімділіктің жаңа деңгейін қамтамасыз етеді. Қоюландырылған қалдықтарды пайдалану қалдық көлемін азайтып қана қоймай, пастаның реологиялық қасиеттерін жақсартып, оның құбыр желісі арқылы тұрақты әрі циклдік режимде берілуіне мүмкіндік береді.

Бұл тәсіл пасталық толтырымның беріктік және дренаждық қасиеттері жоғары жасанды массивтерді қалыптастыруына жағдай жасайды. Осылайша, «қоюлатылған» байыту қалдықтарын қолдану тау-кен кәсіпорындары үшін экологиялық жүктемені азайтуға, цемент шығынын төмендетуге және өндірістік процестердің жалпы тиімді-

лігін арттыруға бағытталған маңызды технологиялық шешім болып табылады [4, 5].

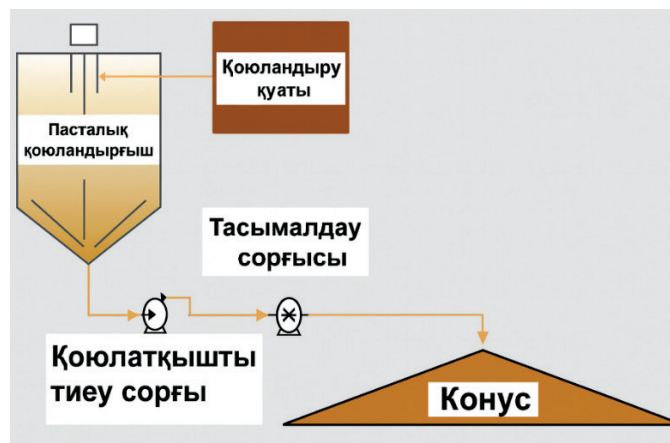
Зерттеу материалдары мен әдістері

Паста қоюландыру технологиясы тау-кен өндірісіндегі бірқатар маңызды мәселелерді тиімді шешеді. Қалдықтарды қоюлату тұндырғыштарға тәуелділікті азайтып, зауытта қайта қолдануға жарамды таза су алуға мүмкіндік береді. Паста тоғандарда қауіпсіз сақталады: ол түбіне шөгіп, тығыз күйде қалып, жоғарғы қабатында судың әсеріне ұшырамайды және қажет болса шахталарды толтыруға пайдаланылады. Бұл технология қалдықтардың конустық үйінділерін қалыптастырып, олардың ауданы мен ағып кету қаупін дәстүрлі әдістермен салыстырғанда айтарлықтай төмендетеді.

Бүгінгі таңда пастаны қоюландыру технологиясы тау-кен өнеркәсібіндегі көптеген мәселелердің ұзақ мерзімді шешімін қамтамасыз ете алады.

Осылайша, паста қымбат фильтрацияға балама ретінде кен қазбаларын (шахталарды) толтыру үшін оңтайлы материал болып табылады. Қайта толтыру үшін жоғары берік паста қажет болса, ол байланыстырғышпен (мысалы, портландцемент) және сумен араластырылады, ол айдау және құбырлар кезінде тұтқырлықты бақылау үшін қосылады [6, 7].

Паста – байланыстырушы қоспа шахта ұңғымасына айдалады, содан кейін ауырлық күшінің әсерінен құю нүктесіне тасымалданады. Кен қазбаларын пастамен қайта



Сурет 1. Пастаны дайындау технологиясы.
Figure 1. Paste preparation technology.
Рис. 1. Технология приготовления пасты.



Сурет 2. СЦ-5П паста қоюландырғышы.
Figure 2. SC-5P paste thickener.
Рис. 2. Пастовый уплотнитель СЦ-5П.

толтыру да қалдықтарды жоюдың (көшірудің) үнемді әдісі болып табылады.

Паста толтыру материалдары судың аз мөлшері және байыту қалдықтарын тиімді қайта өңдеу мүмкіндігі арқасында дәстүрлі суспензиялық толтырмалардан айтарлықтай тиімді. Су мөлшерінің төмендеуі толтырманың беріктігі мен біртектілігін арттырып, қабаттасу ықтималдығын азайтады, цемент шығынын 40–60%-ға қысқартады және қатаю уақытын төмендетеді. Бұл қалыптарды орнату, дренаж және тазалау сияқты жанама шығындарды 80%-ға дейін азайтуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, диірмен қалдықтарын жер асты қазбаларына көму қалдық қоймаларының көлемін азайтып, экологиялық әсерді төмендетеді, жер асты суларының ластану қаупін барынша азайтады.

Соңғы жылдары Канада, Германия, Оңтүстік Африка және басқа елдерде пасталық толтыру технологиясы кеңінен енгізіліп келеді. Бұл әдіс Қазақстан шахталарында қолданылатын дәстүрлі тәсілдерге қарағанда бірқатар

артықшылықтарға ие. Сондықтан бұл технологияны жер асты кен орындарын игеруде қолдану мүмкіндігін талдау және оның негізгі аспектілерін айқындау маңызды.

Соңғы онжылдықта паста материалдарын тасымалдау технологиясы едәуір дамыды. Бастапқыда ол жерасты кен қазбаларын толтыру үшін қолданылғанмен, бос жыныстардың дренаждық қасиеттерінің төмендігі олардың толтырғыш ретінде жарамсыз болуына әкелді. Паста тәрізді қоспаларды пайдалану бұл мәселені шешіп, беріктігі жоғары цементтелген толтыру алуға мүмкіндік береді. Пастаның төмен тұтқырлығы құм, бос жыныс, шлак сияқты ірі материалдарды да тиімді тасымалдауға жағдай жасайды. Бұл қасиет әртүрлі фракциялы жыныстарды біріктіріп, қауіпсіз әрі үнемді толтыру материалын дайындауға мүмкіндік береді. Толтырғыш материалдардың салыстырмалы сипаттамалары 1-кестеде көрсетілген.

Кесте 1

Толтырым түрлерінің салыстырмалы сипаттамалары

Table 1

Comparative characteristics of bookmark types

Таблица 1

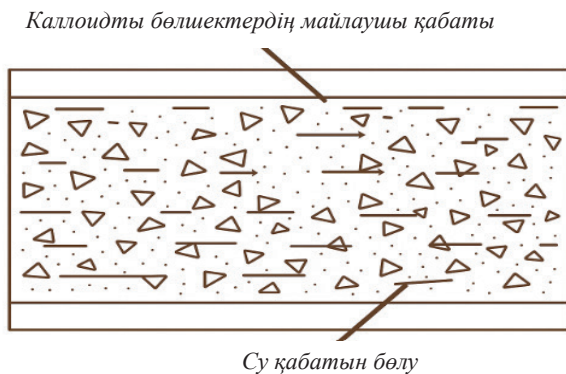
Сравнительная характеристика видов закладки

Толтырым түрі			
Көрсеткіштер	Жыныстар	Пульпа	Паста
Жағдайы	Құрғақ	60–75% қатты	65–85% қатты
Тасымалдау сұлбасы	Тау жыныстарын тасымалдау, инжекторлар	Құбыр, ұңғымалар	Құбыр, ұңғымалар
Цементтің қажет пе	Міндетті емес	Міндетті емес	Қажет
Сегрегация	Тау жыныстарын тасымалдау кезінде	Пульпаны тасымалдау кезінде	жоқ
Толтыру толықтығы	қиын	Мүмкін емес	жеңіл
Өнімділік	100–400т/сағ	100–200т/сағ	50–200т/сағ

Паста толтырымын қолдану тау-кен өнеркәсібіндегі маңызды инновациялардың бірі болып табылады. Паста – су мен түйіршікті материалдың қоспасы, тұтқырлығы жоғары болғанымен, сұйықтық тәрізді өтімділікке ие жүйе. Мұндай қасиет қоспадағы коллоидтық бөлшектердің суды ұстап тұруына және құбыр қабырғалары бойымен таралуына байланысты қалыптасады.

Пастаның қозғалысын түсіндіру үшін «өзек» ұғымы қолданылады. Паста суспензия ретінде емес, орталық бөлігі жоғары жылдамдықпен қозғалатын «ағындық өзегі» бар құрылымды орта түрінде тасымалданады. Өзектен шетке қарай қозғалыс жылдамдығы төмендеп, құбыр қабырғаларына жақын аймақта майлаушы қабат түзіледі. Бұл қабат коллоидтық бөлшектерден тұрады және өзектегі ірі бөлшектердің үйкелісін азайтады.

Зерттеулер пастаның ағындық өзегі оның ең ұсақ фракцияларының ионизациясы нәтижесінде қалыптасатынын көрсетті. Үйкеліс әсерінен құбыр қабырғалары мен бөлшектер арасында карама-қарсы зарядтар пайда болып, коллоидтық бөлшектер қабырғаларға тартылып, майлаушы қабат түзеді. Бұл құбылыс материалдың аз бөлігімен-ақ тиімді ағын түзуге мүмкіндік береді (3-сурет).



Сурет 3. Коллоидты бөлшектердің құбыр шеттеріне шығуы.

Figure 3. Migration of colloidal particles toward the pipe walls.

Рис. 3. Выход коллоидных частиц к стенкам трубы.

Кесте 2

Бастапқы паста материалының үлгілерінің бір осьтік сығымдалу беріктігі

Table 2

Uniaxial compressive strength of initial paste material samples

Таблица 2

Прочность на одноосное сжатие образцов исходного пастового материала

№ п/п Материал атауы	Бір осьтік қысу күші, МПа, қатаю кезеңінде, күн			
	7 күн	14 күн	28 күн	180 күн
1 Түпнұсқа паста (цементсіз)	0	0	0	0

Паста тәріздес толтырғыш қоспалар дәстүрлі материалдармен салыстырғанда бірқатар артықшылықтарға ие. Бұл, негізінен, су мөлшерінің аздығы мен флотациялық қалдықтарды пайдалануға мүмкіндік беруімен байланысты. Су құрамының төмен болуы толтырудың беріктігін, біртектілігін арттырады, қабаттасуды азайтады және окшаулағыш линтельдерге түсетін қысымды төмендетіп, құрылыс пен дренажға кететін шығындарды қысқартады. Флотациялық қалдықтарды толтыруға пайдалану қоймалардың көлемін және қоршаған ортаға әсерді айтарлықтай азайтады [8].

Паста толтырымының негізгі артықшылықтары

1. Жақсартылған сапа

- дренаж кезінде цементтің ең аз шығыны; біртекті масса.

Агрегация нәтижесінде қабатсыз толтыру қоспасы.

2. Материалдардың құнының төмендеуі

- цемент шығынын 40–60%-ға азайту;
- линтель құрылысына арналған материалдар шығынын 80%-ға дейін азайту;
- тау-кен және өңдеу өнеркәсібінің қатты қалдықтарын кеңінен пайдалану.

3. Өнімділіктің артуы

- өндірілген кеңістікке толтыру қоспасын үздіксіз беру есебінен толтыру жұмыстарының қарқындылығын арттыру және осыған байланысты толтыру уақытын 20%-ға дейін қысқарту;

- шахталарды тазалау көлемін 80%-ға дейін азайту.

4. Қоршаған ортаны қорғау

- қалдық қоймаларының көлемін 50%-ға қысқарту;
- гидротехникалық кешенге қойылатын талаптардың төмендеуі;

- мелиоративтік талаптарды азайту.

Паста салмасын дайындауға шектеулер. Бірқатар технологиялық және экономикалық шектеулер бар:

- біркелкі гранулометриялық құрамы бар құю қоспаларын құбырлар арқылы тасымалдау өте қиын, себебі оларда өзек үшін шекаралық ағын жағдайларын құрайтын ұсақ фракцияның жеткіліксіз мөлшері;

- ұсақ фракцияның көлемін ұлғайту толтырғыш материалды сусыздандыру үшін көп күш жұмсауды талап етеді, бұл өз кезегінде жабдық пен электр энергиясына шығындарды талап етеді.

Нәтижелер және оларды талқылау

Зерттеу нәтижелері паста тәріздес толтырғыш қоспаларының дәстүрлі материалдарға қарағанда айқын артықшылықтарын көрсетті. Судың аз мөлшері қоспаның механикалық беріктігін арттырып, біртекті құрылым мен 28 күн ішінде 95%-ға дейін жететін жоғары нығыздалу беріктігін қамтамасыз етеді.

Гидравликалық талдау пастадағы коллоидтық бөлшектердің құбыр қабырғаларында майлаушы қабат түзіп, тасымалдаудың тұрақтылығын жақсартатынын көрсетті. Қоспаның тиімді тасымалдануы үшін < 20 мкм бөлшектер үлесі кемінде 15% болуы шарт. Құбыр тізбектеріндегі ұзындық қатынасының да маңызы зор: 3:1 қатынасында өнімділік 200 т/сағ шамасында болса, қатынас артқан сайын өнімділік 50%-ға дейін төмендейді.

Экономикалық жағынан паста технологиясы цемент шығынын 40–60%-ға, қосымша құрылыс материалдары шығынын 80%-ға дейін қысқартады. Флотациялық және үгінді қалдықтарын пайдалану қалдық қоймаларының көлемін шамамен 50%-ға азайтып, экологиялық әсерді төмендетеді.

Экологиялық тұрғыдан паста технологиясы суды тиімді пайдалану, жер асты суларының ластану қаупін азайту және қалдықтарды басқару талаптарын жеңілдету арқылы маңызды артықшылық береді.

Сонымен қатар технологиялық шектеулер де анықталды: ұсақ фракциялардың жеткіліксіз мөлшері тасымалдауды қиындатады, ал құбырлардың жоспарлануы өнімділікке тікелей әсер етеді. Бұл факторлар паста құрамын және тасымалдау жүйесін оңтайландыруды қажет етеді.

Жалпы алғанда, паста тәріздес толтырғыш технологиясы тау-кен өндірісінің қауіпсіздігін, экологиясын және экономикалық тиімділігін арттыратын перспективалы әдіс ретінде бағаланады [9, 10].

Қорытынды

Жүргізілген зерттеулер паста тәріздес қаптама қоспаларының дәстүрлі толтырғыш материалдардан бірқатар артықшылықтарға ие екенін көрсетті. Қоспаның физика-механикалық, реологиялық және экологиялық қасиеттеріне жасалған талдау оның технологиялық тиімділігін растады.

Пастаның негізгі ерекшелігі – еркін судың аз болуы және ұсақ фракциялардың жоғары үлесі. Бұл қатаю процесін күшейтіп, толтырылған массивтің беріктігі мен біртектілігін арттырады. Қоспаның тығыздығы 1.8–2.2 т/м³, ал 28 күндік қысу беріктігі 6–8 МПа-ға жетеді.

Зерттеу қорытындылары:

1. Паста тәріздес қоспалар – экологиялық таза және экономикалық тиімді толтыру технологиясы.

2. Оптималды құрам: ұсақ фракциялар $\geq 20\%$, байланыстырғыш 6–10%, су $\leq 15\%$ – бұл жақсы реологиялық қасиеттер мен жоғары беріктікті қамтамасыз етеді.

3. Портландцемент негізіндегі қоспалар тез қатаяды, ал күл мен шлак қосылған варианттар ұзақ мерзімді тұрақтылық береді.

4. Паста технологиясы өндірістік қалдықтарды тиімді қайта өңдеп, ресурстарды үнемдейді.

5. Геомеханикалық модельдеу пастамен толтырылған кеңістіктердің кернеу үлестіруін тұрақтандыратынын және опырылу қаупін азайтатынын көрсетті.

Қорытындылай келе, паста тәріздес қаптама қоспалары – қазіргі тау-кен өнеркәсібінде экологиялық қауіпсіз, сенімді және экономикалық тұрғыдан тиімді технология, әрі оны өндірісте кеңінен қолдану маңызды.

Қаржыландыру

Бұл мақала BR24992854 «Шығыс Қазақстан облысының тау-металлургия саласының тұрақты дамуын қамтамасыз ету үшін бәсекеге қабілетті ғылыми негізделген технологияларды әзірлеу және іске асыру» тақырыбы бойынша Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің 2024–2026 жылдарға арналған бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру конкурсы аясында дайындалды.

Алғыс

Авторлар әріптестеріне әдістемелік қолдау және пайдалы талқылаулар үшін, сондай-ақ мақаланың сапасын жақсартуға ықпал еткен құнды ескертулер үшін анонимді рецензенттерге алғыс білдіреді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Ци С., Фоури А. Пайдалы қазбаларды байыту қалдықтарын басқару үшін цементтелген пасталық толтырма: шолу және болашақ перспективалар // Тау-кен өндірісі. 2019. Т. 106025. Б. 144. (ағылшын тілінде)
2. Металл кен орындарында жасыл тау-кен ісі үшін цементтелген пасталық толтырманың негізгі теориясы мен технологиясы / Ву А. [және т.б.] // Жасыл және тау кен инженериясы. 2024. Т. 1. № 1. Б. 27–39 (ағылшын тілінде)
3. Сю Джао, Энди Фоури, Чонг-чонг Ци. Жерасты кен қазбаларында қалдықтар негізінде дайындалған толтырманың механикасы мен қауіпсіздік мәселелері // Халықаралық минералдар, металлургия және материалдар жинағы. 2020. Т. 27. № 9. Б. 1165–1178 (ағылшын тілінде)
4. Ялымов Р.Н., Тәжібаев Д.Қ., Исағалиева С.У. Хайдаркан мемлекеттік автономиялық округінде өнеркәсіптік қалдықтарды толтыру қоспаларын дайындау үшін пайдалану // Механиканың заманауи мәселелері. 2018. № 34 (4). Б. 57–65 (орыс тілінде)
5. Кузьмин Е.В., Святецкий В.С., Марковец В.В. Уран рудасын өңдеу қалдықтарын жерасты кәдеге жарату үшін паста алу үшін қоюландыру // Тау-кен журналы. 2018. № 7. Б. 73–77 (орыс тілінде)
6. Белем Т., Бензааза М. Жерасты кен қазбалары үшін пасталық толтырма технологиясын жобалау және қолдану // Геотехнологиялық және геологиялық инженерия. 2018. Бөл. 26 (2). Б. 147–174 (ағылшын тілінде)
7. Юнь С. Паста/толтырма технологияларындағы жаңа бағыттар туралы арнайы шығарылымға редакциялық кіріспе // Халықаралық минералдар, металлургия және материалдар жинағы. 2023. Т. 30. № 10. Б. 1673–1674 (ағылшын тілінде)
8. Ғазиев У.А., Рахимов Ш.Т. Тау-кен металлургия өнеркәсібінің қалдықтарын пайдалана отырып толтыру қоспаларының оңтайлы композицияларын әзірлеу // Құрылыстағы, жылумен жабдықтаудағы және энергиямен қамтамасыз етудегі заманауи технологиялар: халықаралық ғылыми-практикалық конференция материалдары, ФСБЕИ НЕ «Н.И. Вавилов атындағы Саратов мемлекеттік аграрлық университеті», құрылыс және жылу-газбен жабдықтау бөлімі, 2015. Б. 78–80 (орыс тілінде)
9. Абен Х., Крупник Л.А., Шапошник Ю.Н. Қабаттарды қайта толтырылған кеңістіктермен жанасуда жарылыс жасау технологиясы // Қазақстан тау-кен журналы. 2017. № 11. Б. 4–5 (ағылшын тілінде)
10. Йылмаз Э., Фалл М. Пасталық қалдықтарды басқару: Пасталық және қоюландырылған қалдықтарды басқару жөніндегі халықаралық монография: Springer, 2015. 195 б. (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Qi C., Fourie A. Cemented paste backfill for mineral tailings management: review and future perspectives // Minerals Engineering. 2019. V. 106025. 144 p. (in English)

2. *Key theory and technology of cemented paste backfill for green mining of metal mines / Wu A. [et al.] // Green and Smart Mining Engineering. 2024. V. 1. No. 1. 27–39 pp. (in English)*
3. *Xu Zhao, Andy Fourie, Chong-chong Qi. Mechanics and safety issues in tailings-based backfill in underground mines // International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials. 2020. V. 27. No. 9. 1165–1178 pp. (in English)*
4. *Ylymov R.N., Tazhibayev D.K., Isagalieva S.U. Ispol'zovanie promyshlennykh otkhodov Khaidarkanskogo gosudarstvennogo avtonomnogo okruga dlya prigotovleniya zapolnitel'no-smesevykh sostavov [Use of industrial waste of the Khaidarkan State Autonomous District for preparing backfill mixtures], Sovremennye problemy mekhaniki [Modern Problems of Mechanics]. 2018. No. 34 (4). 57–65 pp. (in Russian)*
5. *Kuzmin E.V., Svyatetsky V.S., Markovets V.V. Utoleshchenie dlya polucheniya pasty pri podzemnoi utilizatsii otkhodov pererabotki uranovykh rud [Thickening to obtain paste for underground disposal of uranium ore processing waste], Gornyi Zhurnal [Mining Magazine]. 2018. No. 7. 73–77 pp. (in Russian)*
6. *Belem T., Benzaazoua M. Design and application of underground mine paste backfill technology // Geotechnical and Geological Engineering. 2018. V. 26 (2). 147–174 pp. (in English)*
7. *Yun S. Editorial introduction to a special issue on new trends in paste/backfill technologies // International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials. 2023. V. 30. No. 10. 1673–1674 pp. (in English)*
8. *Gaziev U.A., Rakhimov Sh.T. Razrabotka optimal'nykh kompozitsii zapolnitel'no-smeshannykh sostavov s ispol'zovaniem otkhodov gorno-metallurgicheskoi promyshlennosti [Development of optimal compositions of backfill mixtures using mining and metallurgical industry waste], Sovremennye tekhnologii v stroitel'stve, teplosnabzhenii i energosnabzhenii: materialy mezhd. nauch.-prakt. konferentsii, FGBOU VO «Saratovskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet im. N.I. Vavilova», kafedra stroitel'stva i teplo-gazosnabzheniya [In: Modern Technologies in Construction, Heat Supply and Energy Supply: proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov, Department of Construction and Heat-Gas Supply]. 2015. 78–80 pp. (in Russian)*
9. *Aben Kh., Krupnik L.A., Shaposhnik Y.N. Technology of blasting operations when seams contact with re-filled space // Mining Magazine of Kazakhstan. 2017. No. 11. 4–5 pp. (in English)*
10. *Yilmaz E., Fall M. Paste Tailings Management: International monograph on paste and thickened tailings management: Springer, 2015. 195 pp. (in English)*

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Ци С., Фоури А. Цементированный пастовый твердеющий материал для управления хвостами обогащения: обзор и перспективы развития // Горнодобывающая промышленность. 2019. Т. 106025. С. 144 (на английском языке)*
2. *Ключевая теория и технологии цементованного пастового твердеющего материала для «зеленой» разработки месторождений металлов / Ву А. [и др.] // Зеленая и горная инженерия. 2024. Ч. 1. № 1. С. 27–39 (на английском языке)*
3. *Сю Джао, Энди Фоури, Чонг-чонг Ци. Механика и вопросы безопасности при использовании заполнителя на основе хвостов в подземных горных выработках // Международный журнал по минералам, металлургии и материалам. 2020. Т. 27. № 9. С. 1165–1178 (на английском языке)*
4. *Ялымов Р.Н., Тажиббаев Д.К., Исагалиева С.У. Использование промышленных отходов Хайдарканского государственного автономного округа для приготовления заполнительно-смесевых составов // Современные проблемы механики. 2018. № 34 (4). С. 57–65 (на русском языке)*
5. *Кузьмин Е.В., Святецкий В.С., Марковец В.В. Утолщение для получения пасты при подземной утилизации отходов переработки урановых руд // Горный журнал. 2018. № 7. С. 73–77 (на русском языке)*
6. *Белем Т., Бензаазуа М. Проектирование и применение технологии пастового твердеющего заполнителя в подземных горных работах // Геотехническая и геологическая инженерия. 2018. Т. 26 (2). С. 147–174 (на английском языке)*
7. *Юнь С. Редакционное вступление к специальному выпуску о новых направлениях в технологиях пасты/заполнителя // Международный журнал по минералам, металлургии и материалам. 2023. Т. 30. № 10. С. 1673–1674 (на английском языке)*
8. *Газиев У.А., Рахимов Ш.Т. Разработка оптимальных композиций заполнительно-смешанных составов с использованием отходов горно-металлургической промышленности // Современные технологии в строительстве, теплоснабжении и энергоснабжении: материалы межд. науч.-практ. конференции, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова», кафедра строительства и тепло-газоснабжения, 2015. С. 78–80 (на русском языке)*
9. *Абен Х., Крупник Л.А., Шапошник Ю.Н. Технология ведения взрывных работ при контакте пластов с повторно заполненным пространством // Горный журнал Казахстана. 2017. № 11. С. 4–5 (на английском языке)*
10. *Йылмаз Э., Фалл М. Управление пастовыми хвостами: межд. монография по управлению пастовыми и сгущенными хвостами: Springer, 2015. 195 с. (на английском языке)*

Авторлар туралы мәліметтер:

Габитова А.М., техника ғылымдарының магистрі, Жер туралы ғылымдар мектебінің аға оқытушысы, «Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті» КЕАҚ (Өскемен қ., Қазақстан), ayauzhan.gabitova@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0000-7279-0433>

Абдрашева З.Ж., техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, «Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті» КЕАҚ (Өскемен қ., Қазақстан), zamira91189@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0007-8916-1845>

Абеуов Е.А., техника ғылымдарының кандидаты, доцент, «Абылқас Сагинов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КЕАҚ (Қарағанды қ., Қазақстан), erkebulan69@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6420-565X>

Ананин А.И., техника ғылымдарының кандидаты, Халықаралық Ақпараттандыру Академиясының (ХАА) академигі, ХАА корреспондент-мүшесі, Қазақстан Республикасы Өнеркәсіп және инфрақұрылымдық даму министрлігі Өнеркәсіптік даму комитетінің Минералды шикізатты кешенді қайта өңдеу Ұлттық орталығы филиалы директорының орынбасары (Өскемен қ., Қазақстан), aiya57@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3075-9734>

Information about the authors:

Gabitova A.M., Master's degree, Senior Lecturer at the School of Earth Sciences, NJSC «D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University» (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

Abdrasheva Z.Zh., Master's degree, Senior Lecturer at the School of Earth Sciences, NJSC «D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University» (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

Abeuov Ye.A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, «Abylqas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Ananin A.I., Cand. of tech. sc., Academician of the International Academy of Informatization (IAI), corresponding member of IAI, Deputy Director of filial agency of the National Center for Complex Processing of Mineral Raw Materials, Industrial Development Committee of the Ministry of Industry and Infrastructural Development of the Republic of Kazakhstan (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

Информация об авторах:

Габитова А.М., магистр техн. наук, ст. преподаватель Школы наук о Земле, НАО «Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серікбаева» (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)

Абдрашева З.Ж., магистр техн. наук, ст. преподаватель Школы наук о Земле, НАО «Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серікбаева» (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)

Абеуов Е.А., канд. техн. наук, доцент, НАО «Қарағандинский технический университет им. Абылқаса Сагинова» (г. Қарағанда, Қазақстан)

Ананин А.И., канд. техн. наук, академик Международной академии информатизации (ИАИ), член-корреспондент ИАИ, зам. директора филиала Национального центра комплексной переработки минерального сырья Комитета промышленного развития Министерства промышленности и инфраструктурного развития Республики Казахстан (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)



**14-16 АПРЕЛЯ
2026 ГОДА**

ГОРОД КАЗАНЬ

**25-АЯ ЮБИЛЕЙНАЯ
ЕЖЕГОДНАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ МАС ГНБ**

главное событие 2026 года в области
бестраншейного строительства
подземных коммуникаций
на постсоветском пространстве

Код МРНТИ 52.35.35

Р.А. Мусин, *Н.М. Замалиев, Д.Р. Ахматнуров, Э.Д. Решетняков
Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет
им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

МНОГОСТАДИЙНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ УГОЛЬНОГО МЕТАНА: РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ И ОПЫТНО- ПРОМЫШЛЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Аннотация. Статья посвящена разработке многостадийных технологий извлечения угольного метана, основанных на изменении форм его связи с угольным веществом. Приведены результаты теоретических исследований, лабораторных экспериментов и опытно-промышленных испытаний на пластах Карагандинского бассейна. Установлены закономерности сорбции и десорбции метана, влияние увлажнения угля и гидродинамических воздействий на газоотдачу. Обоснована необходимость комплексного подхода с формированием техногенных коллекторов для повышения проницаемости массива и эффективности дегазации. Полученные результаты имеют промышленное и экологическое значение, повышая безопасность горных работ и позволяя использовать метан как альтернативный энергоресурс.

Ключевые слова: угольный метан, дегазация, гидрообработка, сорбция и десорбция, Карагандинский угольный бассейн.

Көмір метанын өндірудің көпсатылы технологиялары: зертханалық және тәжірибелік-өнеркәсіптік зерттеу-лердің нәтижелері

Андатпа. Мақала көмір метанын өндірудің көпсатылы технологияларын әзірлеуге арналған, олардың негізі – газдың көмір затымен байланыс формаларын өзгерту. Караганды көмір бассейнінің кабаттарында жүргізілген теориялық зерттеулердің, зертханалық тәжірибелердің және тәжірибелік-өнеркәсіптік сынақтардың нәтижелері келтірілген. Метанның сорбциясы мен десорбциясының заңдылықтары, сондай-ақ көмірдің ылғалдануы мен гидродинамикалық әсерлердің газ бөлінуіне ықпалы анықталды. Массивтің өткізгіштігін және дегазация тиімділігін арттыру үшін техногендік коллекторларды қалыптастыруды көздейтін кешенді тәсілдің қажеттілігі негізделді. Алынған нәтижелер өнеркәсіптік және экологиялық тұрғыдан маңызды, шахталардың қауіпсіздігін арттыруға және метанды баламалы энергия көзі ретінде пайдалануға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: көмір метаны, дегазация, гидроөңдеу, сорбция, Караганды көмір бассейні.

Multistage technologies for coal methane extraction: results of laboratory and pilot-industrial studies

Abstract. The article focuses on the development of multistage technologies for coal methane extraction, based on modifying the forms of its bonding with coal matter. Results of theoretical studies, laboratory experiments, and pilot-industrial tests conducted on the Karaganda Basin seams are presented. The regularities of methane sorption and desorption, as well as the effects of coal moisture and hydrodynamic treatments on gas release, are identified. The necessity of an integrated approach with the formation of technogenic collectors to improve seam permeability and degasification efficiency is substantiated. The findings have industrial and environmental significance, enhancing mine safety and enabling methane use as an alternative energy source.

Key words: coal methane, degasification, hydro-treatment, sorption, Karaganda coal basin.

Введение

В современных условиях развития угольной промышленности особое внимание уделяется промышленной безопасности и рациональному использованию метаноносных пластов. Метан в угольных массивах играет двойственную роль: с одной стороны, это ценный энергетический ресурс, с другой – основная причина аварий, пожаров и взрывов в шахтах. По данным исследований, свыше 40% аварий в отрасли связано с газовым фактором, что обуславливает необходимость детального изучения взаимодействия угля и метана и разработки эффективных технологий дегазации [1].

Исследования последних десятилетий показали, что газ в угле присутствует в нескольких формах: свободной, адсорбированной, твердорастворенной и газокристаллической [2]. При этом каждая форма связи характеризуется собственными энергетическими барьерами, определяющими условия и интенсивность выделения метана. Классические методы дегазации, базирующиеся на понижении пластового давления и дренировании свободного газа, оказываются недостаточно эффективными в условиях глубоких горизонтов и мощных пластов с высоким уровнем газонасыщенности. Особенно это проявляется при разработке выбросоопасных пластов Карагандинского угольного бассейна, где традиционные подходы не обеспечивают требуемый уровень безопасности и рентабельности добычи [3].

В этих условиях актуальной задачей становится создание многостадийных технологий воздействия на систему «уголь – метан», позволяющих изменять форму связи ме-

тана с угольным веществом, формировать техногенные коллекторы с повышенной проницаемостью и обеспечивать поступление энергии в дегазируемый массив [4]. Такой подход открывает возможности для последовательного извлечения не только свободного и десорбирующегося газа, но и труднодоступных форм – метана в твердом растворе и газокристаллическом состоянии [5].

Разработка подобных технологий имеет не только промышленную, но и экологическую значимость. Извлечение угольного метана до начала очистных работ снижает вероятность внезапных выбросов, уменьшает риск загрязнения атмосферы шахт и позволяет использовать газ в качестве альтернативного источника энергии. Это соответствует мировым тенденциям в области «чистой энергетики» и устойчивого развития угольных регионов [6].

Методы и материалы

Научное обоснование принципов воздействия на систему «уголь – метан» и разработка критериев оценки перспективности участков для промышленного извлечения угольного метана на основе анализа теоретических положений, лабораторных экспериментов и опытно-промышленных испытаний.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- проанализировать формы связи метана с угольным веществом и определить энергетические условия их разрыва [7];

- сформулировать физические основы деструкции природной системы «уголь – метан» и изучить влияние гидрообработки на параметры газоотдачи [8];

- рассмотреть результаты опытно-промышленных испытаний заблаговременной дегазации пластов Карагандинского угольного бассейна, выявить закономерности изменения проницаемости и газовыделения;

- изучить влияние увлажнения угля на процессы сорбции и десорбции метана, обобщить экспериментальные данные о трехстадийном характере взаимодействия угля, воды и газа [9];

- определить критерии оценки перспективности участков добычи метана, включающие газоносность, проницаемость, напряженно-деформированное состояние массива и эффективность гидровоздействия;

- установить зависимости между напряженно-деформированным состоянием угленосного массива и изменением его фильтрационных характеристик при различных схемах гидровоздействия [10].

Обзор теоретических гипотез

С целью уточнения природы взаимодействия метана с углем был проведен анализ гипотез, разработанных в Московском государственном горном университете (МГГУ) и ИПКОН РАН [1]. Согласно этим работам, молекулы метана могут находиться в свободном состоянии, в адсорбированном виде, в форме твердого углеметанового раствора и в газокристаллическом состоянии. Гипотеза о локализации газа в межмицеллярном и межглобулярном пространстве угольного вещества получила подтверждение методами электронной микроскопии. В последующих исследованиях была определена энергия активации, необходимая для разрыва связи метана с углем, что позволило сформировать энергетическую классификацию форм его удержания. Таким образом, данные теоретические построения задали основу понимания механизмов удержания и высвобождения метана из угля и послужили базой для опытно-промышленных испытаний, направленных на проверку их практической значимости.

Анализ опытно-промышленных испытаний

Практическая база исследования основана на материалах опытно-промышленных работ, выполненных в Карагандинском угольном бассейне. В частности, рассматривались результаты дегазации пласта К12 на поле бывшей шахты № 22 (1961 г.) и последующие работы по пласту Д6 на шахтах «Казахстанская» и им. В.И. Ленина. В этих испытаниях апробировались различные варианты гидрорасчленения и гидроразрыва, включая применение солянокислотной обработки, пневмогидрообработки с тепловым воздействием, а также циклической закачки воздуха с последующим сбросом давления. Полученные материалы использованы для анализа проницаемости пласта, закономерностей развития трещин и динамики газовыделения.

Анализ системы «уголь – метан» подтвердил, что газ в угольных пластах присутствует в различных формах: свободной, адсорбированной, в твердом углеметановом растворе, газокристаллической и химически сорбированной [2]. Распределение по формам представлено в таблице 1, где прослеживаются различия между данными МГГУ и ИПКОН РАН. Высокие доли твердых форм метана объясняют значительные энергетические барьеры при его выделении: от 2 кДж/моль для свободного состояния до 300–400 кДж/моль для газокристаллического [3].

Проницаемость пласта при формировании техногенного коллектора

В ходе опытов зафиксировано изменение фильтрационных свойств пласта. Гидрорасчленение и гидроразрыв обеспечили рост проницаемости массива за счет раскрытия естественных трещин и формирования новых каналов фильтрации. Этот процесс является базовым для создания техногенного коллектора, способного обеспечить извлечение как свободного, так и связанного метана (рис. 1) [4].

Опытная схема деструкции системы «уголь – метан»

В ходе воздействия в стволе скважины формируется дополнительная сеть трещин, что приводит к существенному увеличению коллекторских свойств угля. Важным

Распределение метана в углях по формам существования

Көмірдегі метанның таралуы оның күй формалары бойынша

Distribution of methane in coal by forms of occurrence

Таблица 1

Кесте 1

Table 1

По данным МГГУ		По данным ИПКОН РАН (Айруни А.Т. и др. [1], [2])	
Форма существования метана	Количество метана, %	Форма существования метана	Количество метана, %
Свободный	5–15	Свободный	2–12
Адсорбированный	20–60	Адсорбированный	8–16
Твердый углеметановый раствор	10–40	Твердый углеметановый раствор	70–85
Газокристаллический метан	10–30	Химически сорбированный метан	1–2
-	-	Твердый раствор внедрения	1–3

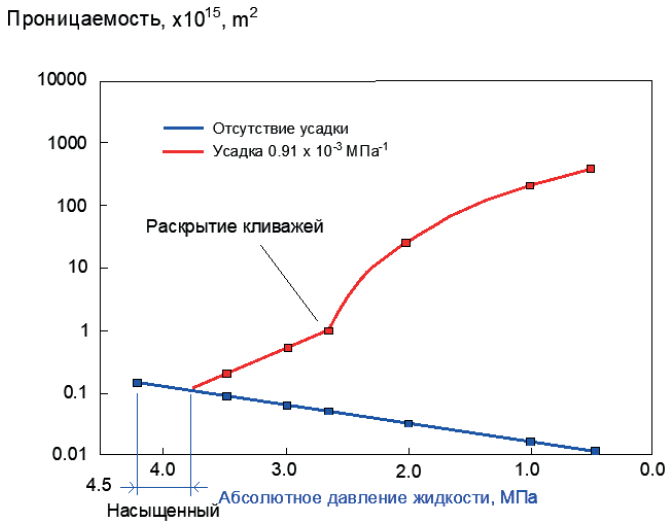


Рис. 1. Изменение однофазной проницаемости в ходе дренажа.

Сурет 1. Дренаж барысында бірфазалы өткізгіштіктің өзгеруі.

Figure 1. Change of single-phase permeability during drainage.

элементом является система разделения потоков: буровой раствор отводится через сепаратор, шлам проходит через вибросито и направляется на отбор образцов, а выделившийся газ регистрируется расходомером и газоанализатором. Такой комплексный подход обеспечивает контроль за процессами деструкции и позволяет оценивать как газоотдачу, так и физико-химические изменения в массиве (рис. 2).

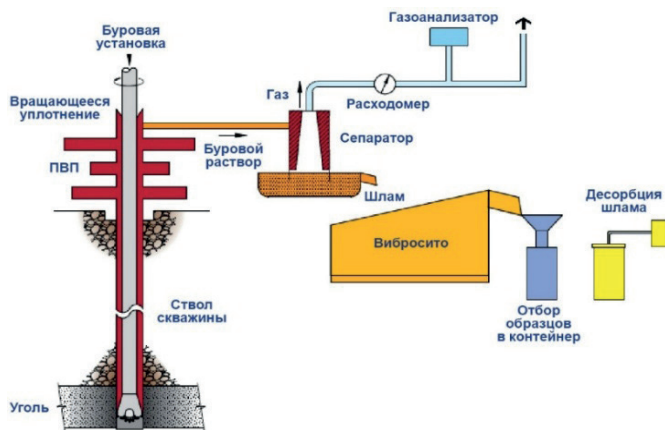


Рис. 2. Опытная схема по деструкции системы «уголь – метан».

Сурет 2. «Көмір – метан» жүйесін деструкциялау бойынша тәжірибелік схема.

Figure 2. Experimental scheme for the destruction of the «coal – methane» system.

Измерение содержания газа по десорбции

Схема регистрации газоотдачи при бурении позволила количественно оценить динамику десорбции. Анализ подтвердил зависимость интенсивности выделения газа от структуры угля и влажности массива (рис. 3) [5].

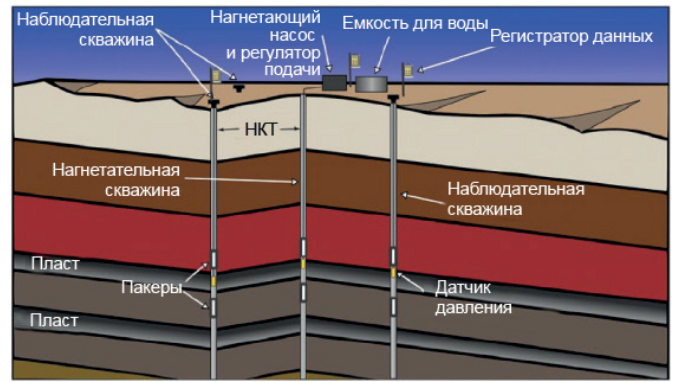


Рис. 3. Схема измерения содержания газа по десорбции.

Сурет 3. Газ мөлшерін десорбция арқылы өлшеу схемасы.

Figure 3. Scheme for measuring gas content by desorption.

Лабораторные исследования по сорбции и десорбции

Для оценки взаимодействия угля и метана проведены лабораторные эксперименты по сорбции и десорбции газа с учетом увлажнения угля. Установлено, что вода в тысячу раз активнее метана в сорбционном отношении. Однако результаты разных исследователей указывают на неоднозначность влияния влаги: в ряде случаев увлажнение снижает газоотдачу, в других – способствует ее увеличению. На основе обобщения опытных данных предложена трехстадийная схема взаимодействия системы «уголь – вода – метан»: заполнение микропор и трещин водой с вытеснением свободного газа → капиллярная пропитка угольного массива с ограничением газоотдачи → диффузия молекул воды в сорбционный объем угля и последующая десорбция метана.

Газоотдача во времени

Данные показывают линейный рост дебита скважин после гидрообработки, что подтверждает эффективность циклической закачки с последующим резким сбросом давления (рис. 4).

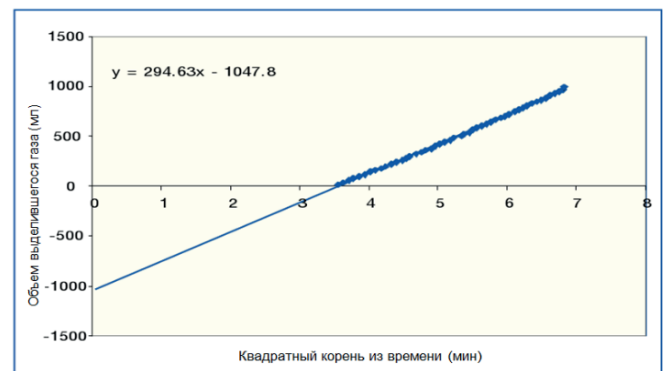


Рис. 4. Зависимость объема выделившегося газа от времени.

Сурет 4. Бөлінген газ көлемінің уақытқа тәуелділігі.

Figure 4. Dependence of the released gas volume on time.

Измерение содержания газа в полевых условиях

Применение схемы замеров позволило сопоставить лабораторные данные с фактическими дебитами скважин при дегазации. Выявлено, что эффективность процесса зависит от размеров блоков и конфигурации питающих трещин (рис. 5).

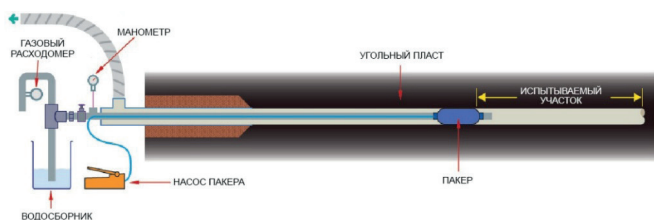


Рис. 5. Схема измерения содержания газа на участке.
Сурет 5. Учаскедегі газ мөлшерін өлшеу схемасы.
Figure 5. Scheme for measuring gas content at the site.

Сравнение изотерм сорбции

Важным элементом анализа стало сопоставление природной изотермы сорбции метана с теоретической изотермой для смеси газов (CH_4 , CO_2 , O_2), полученной на основе лабораторных экспериментов.

Природная и теоретическая изотермы сорбции для CH_4 , CO_2 и O_2 (рис. 6) показали значительные расхождения: фактическая сорбционная емкость угля оказалась ниже расчетных значений. Это объясняется конкуренцией различных газов за сорбционные центры (рис. 6) [7].

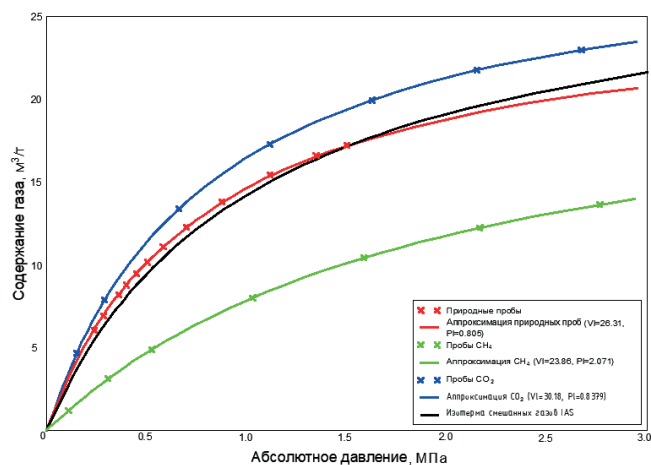


Рис. 6. Сравнение природной и теоретической изотермы сорбции.

Сурет 6. Табиғи және теориялық сорбция изотермаларын салыстыру.

Figure 6. Comparison of natural and theoretical sorption isotherms.

Газоносность в зависимости от глубины

На рис. 8 показана зависимость газоносности пласта Д6 от глубины. Установлено, что при увеличении глубины концентрация метана закономерно возрастает. Это подтверждает необходимость дифференцированного подхода при оценке перспективности участков

добычи. Увеличение глубины залегания сопровождается не только ростом газоносности, но и изменением гидрогеологических условий, в частности влиянием подземных вод, что напрямую отражается на динамике газоотдачи.

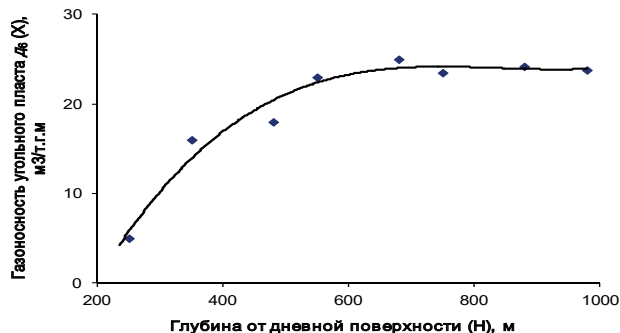


Рис. 7. Зависимость газоносности от глубины (угольный пласт Д6).

Сурет 7. Газқанықтылықтың тереңдікке тәуелділігі (Д6 көмір қыртысы).
Figure 7. Dependence of gas content on depth (coal seam D6).

Влияние гидростатического давления воды

Динамика изменения газоотдачи при росте гидростатического давления (рис. 9) показала, что увлажнение угля вызывает набухание массива и до 30% увеличивает гидростатическую нагрузку. Это влияет на характер трещинообразования и десорбцию метана, что необходимо учитывать при проектировании схем циклической обработки скважин [8], [9], [10].

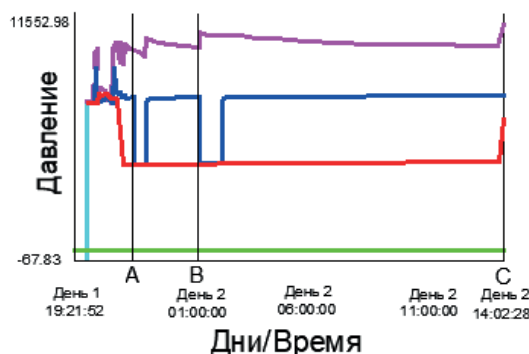


Рис. 8. Влияние гидростатического давления воды во времени.

Сурет 8. Уақыт бойынша судың гидростатикалық қысымының әсері.

Figure 8. Influence of water hydrostatic pressure over time.

Обсуждение

Полученные результаты подтверждают сложную природу системы «уголь – метан» и необходимость многостадийного подхода к ее деструкции. Лабораторные эксперименты выявили двойственную роль увлажнения: в одних

случаях оно снижает газоотдачу, в других – повышает, что согласуется с выводами В.С. Портнова о зависимости сорбции-десорбции, от структуры угля и уровня влаги [5]. Предложенная трехстадийная схема взаимодействия «уголь – вода – метан» подтверждает гипотезы А.Т. Айруни о локализации газа в микропорах и межмицеллярном пространстве [1].

Опытно-промышленные испытания на пластах К12 и Д6 Карагандинского бассейна показали эффективность гидрорасчленения и гидроразрыва для формирования техногенных коллекторов, что согласуется с результатами Н.В. Ножкина [2] и современными исследованиями С.В. Сластунова [6]. Рост газоотдачи после циклической закачки с последующим сбросом давления (рис. 5) подтверждает перспективность таких технологий.

Сравнение природных и теоретических изотерм сорбции метана выявило, что фактическая сорбционная емкость угля ниже расчетных значений из-за конкуренции газов за активные центры, что ранее отмечали В. Корзеневский и К. Склиповский [7].

Полевые исследования зафиксировали рост газоносности с глубиной (рис. 8), что совпадает с наблюдениями Н.М. Замалиева и соответствует моделям Р.В. Кузнецова и В.В. Шишляева, учитывающим усадку матрицы угля и изменение проницаемости системы трещин [10]. Существенное влияние гидростатического давления воды на газоотдачу (рис. 8) подтверждает необходимость комплексного подхода, включающего гидродинамические факторы, что согласуется с рекомендациями ЕЭК ООН [9].

Результаты

Исследование показало, что метан в угольных пластах присутствует в свободной, адсорбированной, твердорасчлененной и газокристаллической формах с энергетическими барьерами от 2 до 400 кДж/моль, что подтверждает необходимость многостадийного подхода.

Опытно-промышленные испытания на пластах К12 и Д6 Карагандинского бассейна подтвердили эффективность гидрорасчленения и гидроразрыва, формирующих техногенные коллекторы и повышающих газоотдачу.

Сравнение природных и теоретических изотерм сорбции выявило, что фактическая емкость угля ниже расчетных значений из-за конкуренции газов за сорбционные центры. Полевые исследования показали закономерный рост газоносности с глубиной и влияние гидростатического давления воды на динамику выделения метана.

Лабораторные опыты подтвердили трехстадийную схему взаимодействия «уголь – вода – метан», способную как усиливать, так и ограничивать газовыделение в зависимости от свойств пласта.

Предложенный подход позволяет повысить эффективность дегазации, снизить газовый фактор и использовать метан как альтернативный энергоресурс в рамках «чистой энергетики».

Благодарность

Исследование было профинансировано Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (Программно-целевое финансирование № BR24993009).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Формы связи метана с углем / Айруни А.Т. [и др.] // Горный журнал. 1990. № 7. С. 45–52 (на русском языке)*
2. *Ножкин Н.В. Гидрорасчленение угольных пластов: М.: Горная книга, 1965. 214 с. (на русском языке)*
3. *Шадрин А.В., Телегуз А.С. Структура подсистемы прогноза выбросоопасности многофункциональной системы безопасности угольной шахты // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2020. № 2. С. 21–31 (на русском языке)*
4. *Забурдяев В.С. Параметры дегазации высокопроизводительных выемочных участков на неизученных шахтных полях // Безопасность труда в промышленности. 2021. № 2. С. 63–68 (на русском языке)*
5. *Влияние влаги на природную газоносность угольных и нефтяных пластов / Портнов В.С. [и др.] // Международный журнал передовых технологий и естественных наук. 2022. № 1. С. 42–50 (на русском языке)*
6. *Технология глубокой дегазационной подготовки угольного пласта на базе его гидрорасчленения через скважины с поверхности / Сластунов С.В. [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. № 1. С. 5–14 (на русском языке)*
7. *Корзеневский В., Склиповский К. Технологии дегазации угольных пластов: обзор и перспективы // Архивы горных наук. 2021. Т. 66 (2). С. 241–258 (на английском языке)*
8. *Экспериментальное исследование методов извлечения угольного метана / Замалиев Н.М. [и др.] // Журнал горной науки. 2022. Т. 58 (5). С. 813–827 (на английском языке)*
9. *ЕЭК ООН. Руководство по передовой практике эффективной дегазации и использования метана в угольных шахтах, Организация Объединенных Наций, Женева, 2017. 126 с. (на английском языке)*
10. *Кузнецов Р.В., Шишляев В.В. Моделирование разработки пластовых систем метаноугольных месторождений с учетом процессов усадки матрицы угля и сжимаемости системы трещин // Вести газовой науки. 2022. № 3 (52). С. 207–216 (на русском языке)*

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Метанның көмірмен байланыс формалары / Айруни А.Т. [және т. б.] // Тау-кен журналы. 1990. № 7. Б. 45–52 (орыс тілінде)
2. Ножкин Н.В. Көмір қабаттарын гидробөлу: Мәскеу: Тау-кен кітабы, 1965. 214 б. (орыс тілінде)
3. Шадрин А.В., Телегуз А.С. Көмір шахтасының көпфункционалы қауіпсіздік жүйесіндегі кенеттен газ-шаң атылу қаупін болжау қосалқы жүйесінің құрылымы // Көмір өнеркәсібінде еңбекті қорғау ғылыми орталығының хабаршысы. 2020. № 2. Б. 21–31 (орыс тілінде)
4. Забурдяев В.С. Зерттелмеген шахталық алаңдардағы жоғары өнімділікпен жұмыс істейтін учаскелердің дегазация параметрлері // Өнеркәсіптік қауіпсіздік. 2021. № 2. Б. 63–68 (орыс тілінде)
5. Ылғалдылықтың көмір және мұнай қабаттарының табиғи газқанықтылығына әсері / Портнов В.С. [және т. б.] // Халықаралық озық технологиялар және жаратылыстану ғылымдары журналы. 2022. № 1. Б. 42–50 (орыс тілінде)
6. Көмір қабатын терең дегазациялық дайындау технологиясы: жер беті ұңғымалары арқылы гидробөлу негізінде Сластунов С.В. [және т. б.] // Тау-кен ақпараттық-талдамалық бюллетені. 2020. № 1. Б. 5–14 (орыс тілінде)
7. Корзеневский В., Скипковский К. Көмір қабаттарын дегазациялау технологиялары: шолу және болашағы // Тау-кен ғылымдарының мұрағаты. 2021. Т. 66 (2). Б. 241–258 (ағылшын тілінде)
8. Көмір метанын өндіру әдістерінің тәжірибелік зерттеуі / Замалиев Н.М. [және т. б.] // Тау-кен ғылымы журналы. 2022. Т. 58 (5). Б. 813–827 (ағылшын тілінде)
9. ЕЭК БҰҰ. Көмір шахталарында метанды тиімді бұру және пайдалану жөніндегі үздік тәжірибелер бойынша нұсқаулық, Біріккен Ұлттар Ұйымы, Женева, 2017. 126 б. (ағылшын тілінде)
10. Кузнецов Р.В., Шишляев В.В. Метан көмір кен орындарының қабатты жүйелерін көмір матрицасының шөгуді мен жарықшақтар жүйесінің сығылғыштығын ескере отырып модельдеу // Газ ғылымы хабарлары. 2022. № 3 (52). Б. 207–216 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. *Formy svyazi metana s uglem [Forms of methane bonding with coal], Airuni A.T. [et al.], Gornyi zhurnal [Mining Journal]. 1990. No. 7. 45–52 pp. (in Russian)*
2. *Nozhkin N.V. Gidroraschlenenie ugol'nykh plastov [Hydraulic disintegration of coal seams]: Moscow: Gornaya kniga, 1965. 214 p. (in Russian)*
3. *Shadrin A.V., Teleguz A.S. Struktura podsistemy prognoza vybrosoopasnosti mnogofunktsional'noi sistemy bezopasnosti ugol'noi shakhty [Structure of the outburst hazard prediction subsystem of the multifunctional safety system of a coal mine], Vestnik Nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noi promyshlennosti [Bulletin of the Research Center for Occupational Safety in the Coal Industry]. 2020. No. 2. 21–31pp. (in Russian)*
4. *Zaburdyayev V.S. Parametry degazatsii vysokoproizvoditel'nykh vyemochnykh uchastkov na neizuchennykh shakhtnykh polyakh [Parameters of degasification of high-performance mining sites in unexplored mine fields], Bezopasnost' truda v promyshlennosti [Industrial Safety]. 2021. No. 2. 63–68 pp. (in Russian)*
5. *Vliyanie vlagi na prirodnyuyu gazonosnost' ugol'nykh i neftyanykh plastov [Influence of moisture on the natural gas content of coal and oil reservoirs], Portnov V.S. [et al.], Mezhdunarodnyi zhurnal peredovykh tekhnologii i estestvennykh nauk [International Journal of Advanced Technology and Natural Sciences]. 2022. No. 1. 42–50 pp. (in Russian)*
6. *Tekhnologiya glubokoi degazatsionnoi podgotovki ugol'nogo plasta na baze ego gidroraschleneniya cherez skvazhiny s poverkhnosti [Technology of deep degasification preparation of a coal seam based on its hydraulic disintegration through surface wells], Slastunov S.V. [et al.], Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' [Mining Information and Analytical Bulletin]. 2020. No. 1. 5–14 pp. (in Russian)*
7. *Korzeniowski W., Skrzypkowski K. Coal seam degasification technologies: review and perspectives // Archives of Mining Sciences. 2021. V. 66 (2). 241–258 pp. (in English)*
8. *Experimental study of coal methane extraction methods / Zamaliyev N.M. [et al.] // Journal of Mining Science. 2022. V. 58 (5). 813–827 pp. (in English)*
9. *UNECE. Best Practice Guidance for Effective Methane Drainage and Use in Coal Mines, United Nations, Geneva, 2017. 126 p. (in English)*

10. Kuznetsov R.V., Shishlyayev V.V. Modelirovanie razrabotki plastovykh sistem metanougol'nykh mestorozhdenii s uchetom protsessov usadki matritsy uglya i szhimaemosti sistemy treshchin [Modeling the development of coalbed methane reservoir systems considering coal matrix shrinkage and fracture system compressibility], Vesti gazovoi nauki [Gas Science Bulletin]. 2022. No. 3 (52). 207–216 pp. (in Russian)

Сведения об авторах:

Мусин Р.А., Ph.D, и. о. доцента, Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), R.A.Mussin@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1206-6889>

Замалиев Н.М., ассоциированный профессор, и. о. доцента, Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), nailzamaliev@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0628-2654>

Ахматнуров Д.Р., Ph.D, заведующий лабораторией, Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), d.akhmatnurov@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-9485-3669>

Решетняков Э.Д., магистр техн. наук, научный сотрудник, Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), vip.red2001@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0000-1128-2056>

Авторлар туралы мәліметтер:

Мусин Р.А., Ph.D, қауымдастырылған профессор м. а., Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Замалиев Н.М., қауымдастырылған профессор, қауымдастырылған профессор м. а., Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Ахматнуров Д.Р., Ph.D, зертхана меңгерушісі, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Решетняков Э.Д., техн. ғылымдар магистрі, ғылыми қызметкер, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Mussin R.A., Ph.D, Acting Associate Professor, Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

Zamaliyev N.M., Associate Professor, Acting Associate Professor, Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

Akhmatnurov D.R., Ph.D, Head of Laboratory, Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

Reshetnyakov E.D., Master of Technical Sciences, Researcher, Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

с 31 марта
по 4 апреля
2026 года

IX ЕЖЕГОДНАЯ ГЕОЛОГО-
ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
И ВЫСТАВКА «ГЕОЕВРАЗИЯ-2026.
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ – НАУКА И БИЗНЕС»

Тема мероприятия
Стимулирование развития
минерально-сырьевой
базы РФ

→ gese.moscow/2026

Организаторы

Общественный
совет
при Роснедрах



>1000
участников



Место проведения
Москва, МГРИ
ул. Миклухо-Маклая, 23

выставка

>300
докладов

круглые
столы

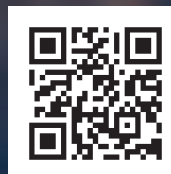
лидеры
отрасли

молодёжная
программа



ГеоЕвразия-2026
Геологоразведочные технологии:
наука и бизнес

демонстрация
оборудования



Код МРНТИ 37.01.11

*А.У. Ашуров, С.С. Мурашкин

«Центральная геолого-геофизическая» экспедиция АО «Узбекгеологоразведка»
 Министерства горнодобывающей промышленности и геологии Республики Узбекистан
 (г. Самарканд, Узбекистан)

АЭРОГАММАСПЕКТРОМЕТРИЯ (УРАН, КАЛИЙ, ТОРИЙ) В РАЙОНЕ ГОР БУКАНТАУ: ОБРАБОТКА АЭРОГАММАСПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Аннотация. В статье рассматриваются теоретические и практические аспекты аэрогаммаспектрометрии, метода, позволяющего изучать распределение естественных радионуклидов (калия, урана, тория) в горных породах. Методика используется для определения литологического состава, выявления геохимических аномалий и поиска потенциальных рудных зон. Приведен сравнительный анализ зарубежного опыта применения аэрогаммаспектрометрии, охватывающий исследования, проводимые в России, Казахстане и Канаде. Особое внимание уделено интеграции аэрогаммаспектрометрических данных с другими геофизическими методами и современным технологическим достижениям (беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), высокочувствительные детекторы, компьютерное моделирование). Результаты свидетельствуют о высокой практической ценности метода для геологоразведки и экологического мониторинга, а также о перспективах его дальнейшего развития.

Ключевые слова: аэрогаммаспектрометрия, естественные радионуклиды, калий, уран, торий, высокочувствительные детекторы, экологический мониторинг, рудные зоны.

Букантау таулары аймағындағы аэрогаммаспектрометрия (уран, калий, торий): аэрогаммаспектрометриялық деректерді өңдеу және зерттеу перспективалары

Андатпа. Бұл мақала, әуе гамма спектрометриясының теориялық және практикалық аспектілерін қарастырады – бұл әдіс тау жыныстарындағы табиғи радионуклидтерді (калий, уран, торий) таратуын зерттеуге мүмкіндік береді. Әдісте литологиялық құрамды анықтауға, геохимиялық аномалияларды белгілеп, әлеуетті кен аймақтарын табуға пайдаланылады. Мақалада Ресей, Қазақстан және Канададағы зерттеулерді қамтитын, әуе гамма спектрометриясын қолданудың халықаралық тәжірибесін салыстырмалы түрде талдау ұсынылған. Арнайы көңіл гамма спектрометриялық мәліметтерді басқа геофизикалық әдістермен және заманауи технологиялық жетістіктермен (ұшқышсыз ұшу аппараттары (ҰҰА), жоғары сезімтал детекторлар, компьютерлік модельдеу) біріктіруге бөлінген. Нәтижелер әдістің геологиялық ізденісте және экологиялық мониторингте жоғары практикалық құндылығын, сондай-ақ оның одан әрі дамуының перспективаларын көрсетеді.

Түйінді сөздер: әуе гамма-спектрометриясы, табиғи радионуклидтер, калий, уран, торий, жоғары сезімтал детекторлар, экологиялық мониторинг, кен аймақтары.

Aerogamma spectrometry (uranium, potassium, thorium) in the area of the Bukantau mountains: aerogamma spectrometric data processing and research prospects

Abstract. This article discusses both the theoretical and practical aspects of airborne gamma spectrometry – a method that enables the study of the distribution of natural radionuclides (potassium, uranium, thorium) in rock formations. The methodology is used for determining the lithological composition, identifying geochemical anomalies, and locating potential ore zones. A comparative analysis of the international experience in applying airborne gamma spectrometry, including research conducted in Russia, Kazakhstan, and Canada, is presented. Particular emphasis is placed on the integration of gamma spectrometric data with other geophysical methods and modern technological advances (unmanned aerial vehicles (UAVs), high-sensitivity detectors, and computer modeling). The results indicate the high practical value of the method for mineral exploration and environmental monitoring, as well as prospects for its further development.

Key words: airborne gamma spectrometry, natural radionuclides, potassium, uranium, thorium, high-sensitivity detectors, environmental monitoring, ore zones.

Введение

Аэрогаммаспектрометрические методы исследования занимают одно из ключевых мест в геофизической разведке, поскольку позволяют получать детальные данные о распределении радиоактивных элементов в земной коре. С их помощью возможно анализировать радиационную активность на поверхности, что представляет важную информационную базу для геологического картирования, определения литологических границ и выявления потенциальных месторождений редкоземельных и ураноносных элементов [1, 2]. Аэрогаммаспектрометрия остается мощным и эффективным инструментом геофизической разведки, позволяющим получать подробные данные о распределении естественных радионуклидов (калия, урана, тория) в земной коре. Сравнительный анализ опыта России, Казахстана и Канады показывает, что сочетание высокой точности измерений, интеграция с другими геофизическими методами и использование передовых технологий открывает широкие перспективы для геологоразведки и экологического мониторинга.

Цель данной статьи – рассмотреть теоретические основы и методические подходы аэрогаммаспектрометрии,

привести практические примеры обработки данных (на примере Бокалинского интрузива), а также провести сравнительный анализ зарубежного опыта в России, Казахстане и Канаде. Особое внимание уделено вопросам интеграции данных аэрогаммаспектрометрии с другими геофизическими методами и перспективам внедрения новых технологий.

Теоретические основы аэрогаммаспектрометрии

Принципы метода

Аэрогаммаспектрометрия основана на регистрации гамма-излучения, испускаемого радиоактивными элементами в результате их естественного распада. Основные элементы, регистрируемые методом, включают:

Калий (К). Сигнал от калия (линия 1,46 МэВ) связан с минералами, содержащими калиевые полевые шпаты и биотит, что позволяет определять магматические и метаморфические породы [3].

Уран (U). Излучение от урана отражает присутствие гранитоидных, вулканических и гидротермальных структур. Повышенные концентрации урана часто свидетельствуют о рудных процессах и потенциальных месторождениях [4].

Торий (Th). Торий, характерный для осадочных и метаморфических пород, дает возможность оценить устойчивость минералов к выветриванию и долгосрочные геохимические процессы [5].

Особенности регистрации и обработки данных

Современные аэрогаммаспектрометрические системы устанавливаются на летательных аппаратах (самолеты, вертолеты, беспилотники), что позволяет проводить съемку на обширных территориях с высокой скоростью. Основные технические параметры включают:

- энергетическую разрешающую способность, необходимую для разделения спектров гамма-излучения от различных элементов;

- пространственную разрешающую способность, зависящую от высоты полета и плотности линий съемки;

- калибровку прибора, обеспечивающую стабильность и сопоставимость данных [6].

Обработка данных включает построение карт распределения концентраций калия, урана и тория, а также карт мощности экспозиционной дозы (МЭД), измеряемой в микроРентгенах в час (мкР/ч). Такие карты служат для выявления аномалий, установления литологических границ и создания базы данных для дальнейших геологоразведочных работ [7, 8].

Методика исследований и практические примеры

Применение метода на местности

Рассмотрим применение аэрогаммаспектрометрии на примере исследования Бокалинского интрузива. На основании проведенных съемок получены следующие данные.

Содержание калия (**K**) варьируется от 0,84 до 5,64% (среднее значение – 3,76%). На территории интрузива выявлены характерные литологические аномалии, такие как участки пониженного содержания, ассоциированные с рудопроявлениями меди, и зоны повышенного калия, указывающие на гидротермальную активность [9].

Содержание тория (**Th**) варьируется от $1,34 \times 10^{-4}\%$ до $20,1 \times 10^{-4}\%$ со средним значением $9,15 \times 10^{-4}\%$. Анализ показателей тория позволяет выявлять изменения состава пород в результате тектонических воздействий.

Содержание урана (**U**) варьируется от 0 до $24 \times 10^{-4}\%$ (среднее значение – $4,74 \times 10^{-4}\%$), что отражает различия в литологическом составе и помогает определить перспективность месторождений.

Алгоритм спектральной деконволюции и методы коррекции данных на атмосферные и рельефные искажения *Спектральная деконволюция (Full Spectrum Stripping)*

Оконный анализ

Определяем три окна вокруг каждой гамма линии (**K**, **U**, **Th**): фон слева, пик, фон справа.

Удаление фона

- Аппроксимируем фон по боковым окнам и вычитаем его из центрального счета.

Решение обратной задачи

- Собираем скорректированные пики в вектор [**K**, **U**, **Th**] и умножаем на заранее калиброванную матрицу чувствительностей, чтобы получить концентрации.

Атмосферная коррекция

- Космический фон: вычитаем экспоненциально затухающую компоненту, зависящую от высоты полета.

- Барометрическая поправка: корректируем счет в зависимости от отличия текущего давления от опорного.

Рельефная (топографическая) коррекция

- Digital Terrain Model (DTM): по карте рельефа строим профиль высот вокруг точки.

- Вычисление взвешенного вклада: каждую ячейку рельефа «весим» по расстоянию и углу обзора (затухание + косинус угла).

- Итоговая поправка: вычитаем интегральный топографический вклад.

Построение карт и использование тернарного грида

Обработка аэрогаммаспектрометрических данных ведется с построением карт распределения концентраций радиоактивных элементов, что позволяет выделять зоны аномальной активности; карт мощности экспозиционной дозы (МЭД), отражающих суммарное гамма-излучение территории, что служит индикатором структурных и литологических особенностей; тернарного грида (Ternary Grid), позволяющего визуализировать соотношение концентраций калия, урана и тория. Этот метод существенно облегчает интерпретацию геохимических данных и выделение зон, требующих дальнейшего детального изучения [10].

Зарубежный опыт применения аэрогаммаспектрометрии с учетом нашего опыта на Букантау

Аэрогаммаспектрометрия успешно применяется во многих странах для детального картирования распределения радионуклидов в земной коре. Опыт, полученный в России, Казахстане и Канаде, демонстрирует как общие подходы, так и специфические особенности организации съемок, обработки данных и интерпретации результатов. Дополнительно, наши исследования на участке Букантау предоставляют ценные сведения о распределении мощности экспозиционной дозы (МЭД) и литологических аномалиях, что позволяет более полно оценить перспективность месторождений.

Российский опыт

В отечественной практике аэрогаммаспектрометрии разработаны детальные методики статистической обработки данных. Среди основных особенностей:

- использование специализированных алгоритмов для построения статистических карт распределения калия, урана и тория, что позволяет точно определять литологические границы и выявлять тонкие структурные аномалии¹;

- интеграция аэрогаммаспектрометрических данных с результатами магнитных, сейсмических и грунтовых ис-

¹Возможности комплексных аэрогеофизических съемок при создании геофизического обеспечения регионально-геологических и прогнозно-поисковых работ (сборник статей). URL: <https://aerogeo.ru> (дата обращения: 17.05.2025).

следований обеспечивает создание комплексных геологических моделей;

- применение тернарного грида (Ternary Grid) позволяет визуализировать соотношение радиоактивных элементов, что является эффективным инструментом для выделения аномальных геохимических зон [1, 5].

Опыт Казахстана

В Казахстане аэрогаммаспектрометрия используется для:

- оценки естественного уровня радиоактивности, что особенно важно в районах с интенсивной добычей полезных ископаемых;
- разведки ураноносных залежей, где метод позволяет уточнить границы осадочных и метаморфических формаций, содержащих уран;
- комплексного интегрирования данных с результатами магнитных и сейсмических исследований для построения трехмерных моделей, что оптимизирует работы по бурению и снижает затраты [2, 4].

Канадский опыт

Канадский опыт характеризуется:

- строгой калибровкой и высокими стандартами съемок, что обеспечивает минимальные погрешности и высокую разрешающую способность измерений;
- активным использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), что позволяет проводить съемки в труднодоступных районах и получать данные с повышенной детализацией;
- объединением аэрогаммаспектрометрических данных с результатами сейсмических и грунтовых исследований для создания детализированных геологических моделей месторождений [3, 4].

Наш опыт на участке Букантау

На участке Букантау наши аэрогаммаспектрометрические исследования показали следующее.

Мощность экспозиционной дозы (МЭД): значения МЭД варьируются от 2,2 до 25,5 мкР/ч с средним значением 11,44 мкР/ч. Это отражает разнообразие литологического состава и структурных особенностей участка.

Рис. 1 демонстрирует статистические параметры грида мощности экспозиционной дозы, а рис. 2 – карту распределения МЭД.

Распределение калия (К): концентрации калия на участке изменяются от 0,84 до 5,64% (среднее значение – 3,76%). Бокалинский интрузив характеризуется средними значениями в диапазоне 3,2–3,6% с локальными повышениями до 4% (в восточной части).

Рудопроявления меди (например, Архар и Архар-1) связаны с понижением содержания калия (3,2% и 2,8% соответственно). Рис. 3 иллюстрирует статистические параметры грида содержания калия, а рис. 4 – карту распределения калия.

Распределение тория (Th): показатели тория колеблются от $1.34 \times 10^{-4}\%$ до $20.1 \times 10^{-4}\%$ со средним значением $9.15 \times 10^{-4}\%$.

В Бокалинском интрузиве значения тория стабилизированы ($8 \times 10^{-4}\%$ – $10 \times 10^{-4}\%$) с локальными понижениями

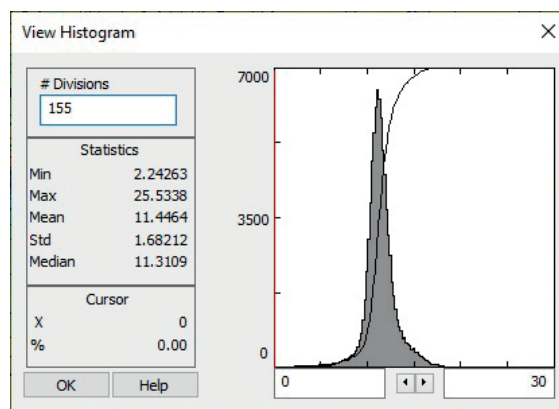


Рис. 1. Статистические параметры грида мощности экспозиционной дозы гамма излучения.

Сурет 1. Гамма-сәулеленудің экспозициялық дозасының қуат торының статистикалық параметрлері.

Figure 1. Statistical parameters of the grid of gamma radiation exposure dose rate.

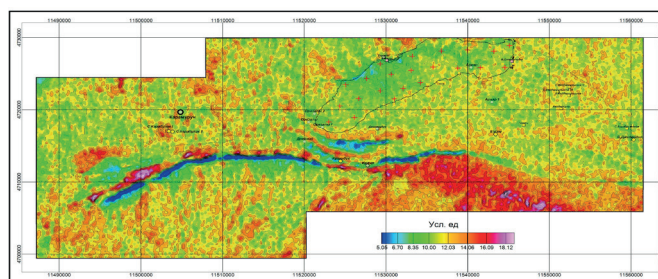


Рис. 2. Карта мощности экспозиционной дозы гамма-излучения.

Сурет 2. Гамма-сәулеленудің экспозициялық дозасының картасы.

Figure 2. Map of gamma radiation exposure dose rate.

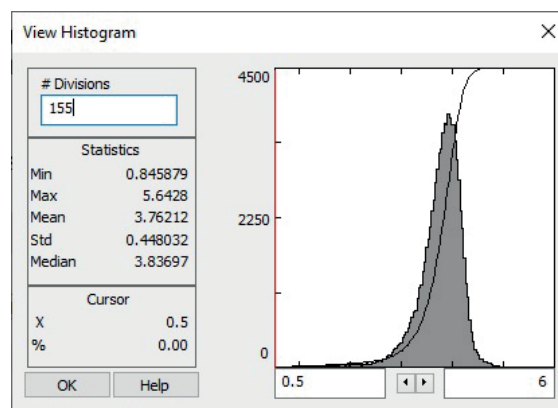


Рис. 3. Статистические параметры грида содержания калия.

Сурет 3. Калий құрамының гридінің статистикалық параметрлері.

Figure 3. Statistical parameters of the potassium content grid.

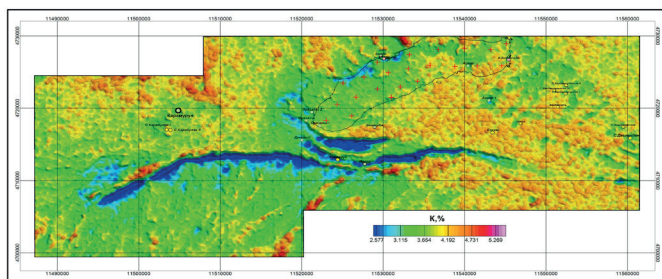


Рис. 4. Карта содержания калия.
Сурет 4. Калий құрамының картасы.
Figure 4. Map of potassium content.

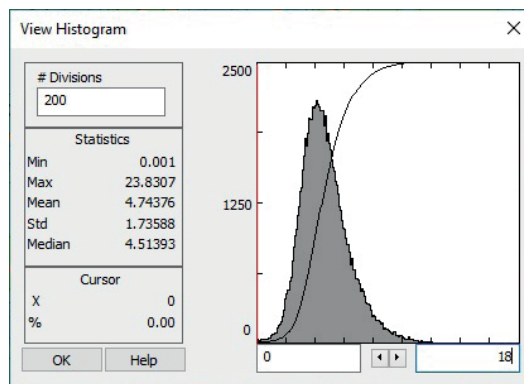


Рис. 7. Статистические параметры града содержания урана.

Сурет 7. Уран құрамының гридінің статистикалық параметрлері.

Figure 7. Statistical parameters of the uranium content grid.

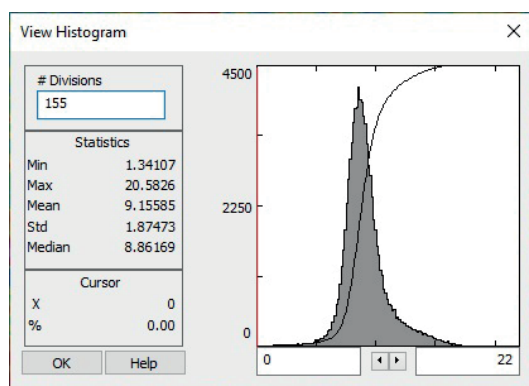


Рис. 5. Статистические параметры града содержания тория.

Сурет 5. Торий құрамының гридінің статистикалық параметрлері.

Figure 5. Statistical parameters of the thorium content grid.

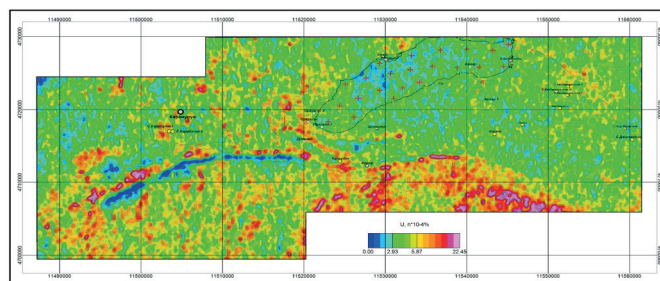


Рис. 8. Карта содержания урана.

Сурет 8. Уран құрамының картасы.
Figure 8. Map of Th of uranium content.

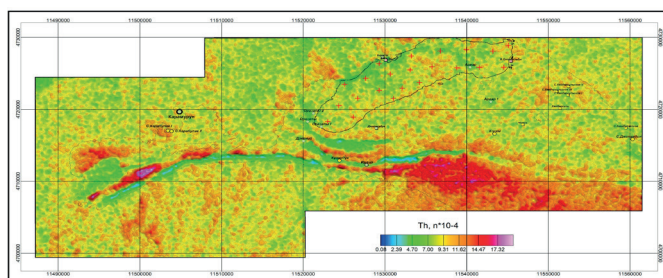


Рис. 6. Карта содержания тория.
Сурет 6. Торий құрамының картасы.
Figure 6. Map of thorium content.

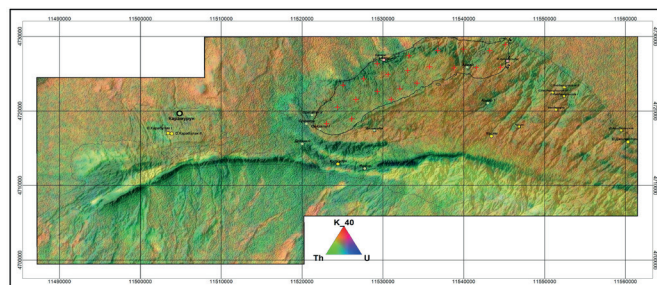


Рис. 9. Ternary grid (трехкомпонентный грид ЕРЭ).
Сурет 9. Үш компонентті грид (ЕРЭ).
Figure 9. Ternary grid (three-component grid of NRE).

до $5 \times 10^{-4}\%$ и повышениями до $11 \times 10^{-4}\%$ в центральной и северо-восточной частях. Рис. 5 представляет статистические параметры града содержаний тория, а рис. 6 – карту распределения тория.

Распределение урана (U): концентрация урана варьируется от 0 до $24 \times 10^{-4}\%$ со средним значением $4,74 \times 10^{-4}\%$.

В Бокалинском интрузиве уран имеет низкие концентрации ($1 \times 10^{-4}\%$ – $3 \times 10^{-4}\%$), а в районах, ассоциированных с вулканическими породами, значения увеличиваются до $10 \times 10^{-4}\%$ – $15 \times 10^{-4}\%$.

Рис. 7 демонстрирует статистические параметры града содержания урана, а рис. 8 – карту распределения урана.

Использование тернарного грида: построение тернарного грида (Ternary Grid) в Geosoft Oasis Montaj позволяет визуально отобразить соотношение концентраций калия, урана и тория на участке, выявляя геохимические аномалии и распределение ЕРЭ.

Рис. 9 показывает трехкомпонентный тернарный грид, который облегчает интерпретацию данных и выделение перспективных зон для дальнейшей детальной разведки.

Литологические особенности. На Букантау наблюдаются участки с пониженным содержанием калия, например, в областях, ассоциированных с рудопроявлениями меди (Архар, Архар-1), а также участки с повышенным содержанием калия в областях, где доминируют интрузивные породы.

Структурные аномалии. Особое внимание следует уделить зонам, где пониженные значения калия сочетаются с локальными аномалиями тория и урана, что указывает на потенциальную связь с глубинными рудными телами и тектоническими нарушениями. Эти данные совпадают с зарубежными тенденциями, где высокие показатели МЭД и изменения в распределении радиоактивных элементов связаны с разломами и зонами гидротермальной активности.

Интегрированная интерпретация. Наш опыт демонстрирует важность комплексного анализа, при котором аэрогаммаспектрометрические данные интегрируются с геологическими, магнитными и сейсмическими исследованиями. Такое объединение позволяет создать полную картину распределения полезных ископаемых, повысить точность интерпретации и выявить перспективные зоны для дальнейших детальных исследований.

Таким образом, наш опыт на участке Букантау подтверждает эффективность аэрогаммаспектрометрии для определения распределения естественных радионуклидов и показывает, как данные, полученные методом, могут быть использованы для комплексного геологического анализа. Сопоставление полученных результатов с зарубежными практиками позволяет адаптировать лучшие методики для оптимизации геологоразведочных работ в регионах с разнообразными литологическими и структурными особенностями. Эти данные подтверждают, что аэрогаммаспектрометрия на участке Букантау успешно выявляет литологические и структурные

аномалии, что согласуется с зарубежным опытом, а интеграция данных помогает оптимизировать программы геологоразведки.

Обсуждение

В ходе сравнительного анализа зарубежного опыта можно выделить следующие ключевые моменты.

Методологическая база: российский опыт отличается глубокой статистической обработкой данных и использованием специализированных инструментов визуализации (тернарный грид), что позволяет выявлять тонкие геохимические аномалии. Это является сильной стороной отечественной методики.

Комплексный подход: Казахстан, благодаря комплексной интеграции аэрогаммаспектрометрических данных с другими методами, сумел достичь высокой эффективности в геологоразведке, особенно в определении ураноносных зон. Такой подход способствует оптимизации расходных материалов и снижению затрат на буровые работы.

Технологические инновации: Канадский опыт показывает, что внедрение современных технологий (БПЛА, высокочувствительных детекторов, компьютерного моделирования) существенно повышает точность и оперативность получения данных. Высокая стандартизация съемок и строгий контроль качества позволяют создавать детализированные геологические модели.

Ограничения метода: несмотря на все преимущества, метод преимущественно регистрирует поверхностное радиоактивное излучение, что может создавать сложности при исследовании глубоких структур. Кроме того, результаты сильно зависят от внешних условий (погодные условия, растительность, влажность), что требует дополнительных корректировок и регулярной калибровки оборудования.

Таблица 1

Сводная таблица сравнительных характеристик АГС-работ в странах

Кесте 1

Елдердегі АГС жұмыстарының салыстырмалы сипаттамаларының жиынтық кестесі

Table 1

Summary table of comparative characteristics of AGS works in different countries

Страна	Тип носителя	Высота полета, м	Программное обеспечение	Коррекция данных
Россия	Самолет, вертолет	80–120	Geosoft Oasis Montaj, СП «Росгео»	Атмосферная, барометрическая, топографическая
Казахстан	Самолет	100	Geosoft Oasis Montaj	Атмосферная, топографическая
Канада	Самолет, БПЛА	60–100	Proprietary Canadian package	Атмосферная, барометрическая, топографическая
Узбекистан	Вертолет	70–150	Geosoft Oasis Montaj, PRAGA	Собственное излучение воздушного судна и фон космического излучения. Комтоновское рассеяние. Поглощение гамма-излучения воздухом. Коэффициенты чувствительности. Вариации радона

Метрологические параметры аппаратуры, используемой в исследованиях

Таблица 2

Зерттеулерде қолданылатын аппаратураның метрологиялық параметрлері

Кесте 2

Metrological parameters of the equipment used in the research

Table 2

Параметр	Окно	Коэффициент концентрационной чувствительности
Чувствительность	Общий канал имп (мкР/ч)	142,24
	Калий имп/%	40,48
	Уран имп/10 ⁻⁴ %	6,25
	Торий имп/10 ⁻⁴ %	2,52
Точность съемки	σK	3,83%
	σU	3,47%
	σTh	3,61%

Перспективы развития: интеграция аэрогаммаспектрометрии с новыми дистанционными методами зондирования и применением аналитических методов (например, машинного обучения) открывает перспективы для создания еще более точных и оперативных геологических моделей, что особенно актуально для глобальной геологоразведки и экологического мониторинга.

Технологические инновации и перспективы развития

Новейшие разработки

Современные технологические достижения позволяют существенно расширить возможности аэрогаммаспектрометрии.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) снижают затраты и повышают детализацию съемок за счет полетов на низких высотах [3].

Высокочувствительные детекторы. Современные модели спектрометров уменьшают погрешности измерений и точно разделяют сигналы от различных радиоактивных элементов [4].

Компьютерное моделирование. Методы машинного обучения и геостатистического анализа позволяют строить трехмерные модели распределения радиоактивных элементов, прогнозировать будущие аномалии и оптимизировать геологоразведочные работы [4].

Перспективы развития

Будущее аэрогаммаспектрометрии определяется:

- расширением сфер применения, включая мониторинг экологической обстановки и контроль за техногенными объектами;
- интеграцией методов дистанционного зондирования для создания комплексных геологических моделей, способных учитывать не только поверхностные, но и глубинные структуры;
- международным сотрудничеством по обмену опытом и внедрению лучших практик, что позволит повысить эффективность геологоразведочных работ на глобальном уровне.

Заключение

Таким образом, аэрогаммаспектрометрия продолжает оставаться одним из наиболее эффективных методов геофизической разведки, предоставляя уникальную возможность изучать распределение естественных радионуклидов – калия, урана и тория в горных породах. Сравнительный анализ опыта России, Казахстана и Канады показывает, что интеграция аэрогаммаспектрометрических данных с другими геофизическими и геохимическими методами позволяет существенно повысить эффективность геологоразведочных работ, а также способствует более точной интерпретации полученных данных.

Современные технологии, включая использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), высокочувствительных детекторов и компьютерного моделирования, открывают новые горизонты для развития метода, расширяя возможности аэрогаммаспектрометрии в труднодоступных районах и повышая точность исследований.

Практические примеры, рассмотренные на основе исследований в районе Бокалинского интрузива и Букантау, демонстрируют успешное применение аэрогаммаспектрометрии для выявления литологических и геохимических аномалий, связанных с потенциальными рудными зонами. Эти результаты подтверждают высокую информативность и практическую ценность метода, особенно при решении задач комплексной геологоразведки и экологического мониторинга.

Перспективы дальнейшего развития аэрогаммаспектрометрии связаны:

- с широким внедрением автоматизированных систем сбора и обработки данных;
- с повышением пространственной и энергетической разрешающей способности измерений;
- с развитием программного обеспечения для интеграции аэрогаммаспектрометрических данных с другими геофизическими и геохимическими методами;
- с расширением использования метода в экологическом мониторинге, включая контроль радиоактивного загрязнения и анализ природного фона.

Таким образом, аэрогаммаспектрометрия не только сохраняет свою актуальность как инструмент геологоразведки, но и демонстрирует значительный потенциал для применения в смежных областях науки и техники, таких как экология, геоинформатика и управление природными ресурсами.

Благодарность

Исследование проведено в рамках производственной деятельности «Центральной геолого-геофизической» экспедиции Акционерного общества «Узбекгеологоразведка» Министерства горнодобывающей промышленности и геологии Республики Узбекистан.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бойко А.А. Аэрогаммаспектрометрия в современных геофизических исследованиях: монография: М.: Геофизический институт РАН, 2019. 272 с. (на русском языке)
2. Иванов И.И. Методы дистанционного зондирования в горнодобывающей промышленности // Журнал геологических исследований. 2020. Т. 45. № 3. С. 112–127 (на русском языке)
3. Воздушная гамма-спектрометрия: методы и применение / Смит Дж. [и др.] // Канадский журнал наук о Земле. 2021. Т. 58. № 4. С. 412–430 (на английском языке)
4. Радиометрические исследования в Центральной Азии: методика и применение / Каримова Н. [и др.] // Казахстанский геологический обзор. 2020. Т. 14. № 1. С. 25–46 (на русском языке)
5. Петров С.С. Публикационные материалы по аэрогаммаспектрометрическим исследованиям: сб. тр. / под ред. С. С. Петрова. М.: Геофизический институт РАН, 2018. 312 с. (на русском языке)
6. Бабаянц П.С. Возможности современных аэрогеофизических технологий при решении задач геологического картирования и поисков месторождений твердых полезных ископаемых: монография: М., 2015. 55 с. (на русском языке)
7. Контарович Р.С., Бабаянц П.С., Блох Ю.И., Трусов А.А. Методологические основы интерпретации материалов современных аэрогеофизических съемок // Европейская ассоциация геологов и инженеров, Geotodel 2007 – 9-я науч.-практ. конференция EAGE по геологоразведке и разработке месторождений нефти и газа, сентябрь 2007 г. (на русском языке)
8. Бабаянц П.С. Методология современной аэро-геофизической интерпретации // Разведка и охрана и недр. 2015. С. 25–33 (на русском языке)
9. Калмыков Б.А. Современные аэрогеофизические технологии при поисках месторождений золота // XI Межд. науч.-практ. конф. ЦНИГРИ, Москва, 2022. С. 209–213 (на русском языке)
10. Калмыков Б.А., Левин Ф.Д., Трусов А.А. Возможности современных аэрогеофизических методов при прогнозировании и поисках золоторудных месторождений // Золото и технологии. 2017. № 2. С. 64–70 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Бойко А.А. Қазіргі геофизикалық зерттеулерде әуе гамма спектрометриясы: монография: М.: Ресей Ғылым академиясының Геофизика институты, 2019. 272 б. (орыс тілінде)
2. Иванов И.И. Тау кен өнеркәсібінде қашықтықтан зондтау әдістері // Геологиялық зерттеулер журналы. 2020. Т. 45. № 3. Б. 112–127 (орыс тілінде)
3. Әуе гамма спектрометриясы: әдістері мен қолданбалары / Смит Дж. [және т. б.] // Канадалық Жер туралы ғылымдар журналы. 2021. Т. 58. № 4. Б. 412–430 (ағылшын тілінде)
4. Орталық Азиядағы радиометриялық жұмыстар: әдістері мен қолданбалары / Каримова Н. [және т. б.] // Қазақстандық геологиялық шолу. 2020. Т. 14. № 1. Б. 25–46 (орыс тілінде)
5. Петров С.С. Әуе гамма спектрометриялық зерттеулер материалдары: мақалалар жинағы: М.: Ресей Ғылым академиясының Геофизика институты, 2018. 312 б. (орыс тілінде)
6. Бабаянц П.С. Қатты пайдалы қазбалар кен орындарын іздеу мен геологиялық картографиялауда заманауи аэро-геофизикалық технологиялардың мүмкіндіктері: монография: М., 2015. 55 б. (орыс тілінде)
7. Контарович Р.С., Бабаянц П.С., Блох Ю.И., Трусов А.А. Қазіргі заманғы аэрогеофизикалық түсірілім материалдарын интерпретациялаудың әдістемелік негіздері // Еуропалық геологтар мен инженерлер қауымдастығы, Geotodel 2007 – мұнай мен газ кен орындарын барлау және игеру жөніндегі 9-ғылыми-практикалық конференция, қыркүйек 2007 ж. (орыс тілінде)
8. Бабаянц П.С. Заманауи аэро-геофизикалық интерпретация әдіснамасы // Жер қойнауын барлау және қорғау. 2015. Б. 25–33 (орыс тілінде)
9. Калмыков Б.А. Алтын кен орындарын іздестірудегі заманауи аэро-геофизикалық технологиялар // XI Халықаралық ғылыми-практикалық конференция ЦНИГРИ, Мәскеу, 2022. Б. 209–213 (орыс тілінде)
10. Калмыков Б.А., Левин Ф.Д., Трусов А.А. Алтын кен орындарын болжау және іздестіру кезіндегі заманауи аэрогеофизикалық әдістердің мүмкіндіктері // Алтын және технология. 2017. № 2. Б. 64–70 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Boiko A.A. *Aerogammaspektrometriya v sovremennykh geofizicheskikh issledovaniyakh: monografiya* [Airborne Gamma Spectrometry in Modern Geophysical Research: Monograph]. Moscow: Geofizicheskii institut RAN, 2019. 272 p. (in Russian)
2. Ivanov I.I. *Metody distantsionnogo zondirovaniya v gornodobyvayushchei promyshlennosti* [Methods of Remote Sensing in the Mining Industry], *Zhurnal geologicheskikh issledovaniy* [Journal of Geological Research]. 2020. V. 45. No. 3. 112–127 pp. (in Russian)
3. *Airborne Gamma Spectrometry: Methods and Applications* / Smith J. [et al.] // *Can. J. Earth Sci.*, 2021. V. 58. No. 4. 412–430 pp. (in English)
4. *Radiometricheskie issledovaniya v Tsentral'noi Azii: metodiki i primeneniye* [Radiometric Surveys in Central Asia: Techniques and Applications], Karimova N. [et al.], *Kazakhstanskii geologicheskii obzor* [Kazakhstani Geological Review]. 2020. V. 14. No. 1. 25–46 pp. (in Russian)
5. Petrov S.S. *Publikatsionnye materialy po aerogammaspektrometricheskim issledovaniyam: sb. tr.* [Proceedings of Airborne Gamma-Spectrometry Research: Collection of Papers]. Moscow: Geofizicheskii institut RAN, 2018. 312 p. (in Russian)
6. Babayants P.S. *Vozmozhnosti sovremennykh aerogeofizicheskikh tekhnologii pri reshenii zadach geologicheskogo kartirovaniya i poiskov mestorozhdenii tverdykh poleznykh iskopaemykh: monografiya* [Capabilities of modern airborne geophysical technologies in geological mapping and solid mineral exploration: Monograph]. Moscow, 2015. 55 p. (in Russian)
7. Kontarovich R.S., Babayants P.S., Blokh Yu.I., Trusov A.A. *Metodologicheskie osnovy interpretatsii materialov sovremennykh aerogeofizicheskikh s'emok* [Methodological foundations for the interpretation of modern airborne geophysical survey data], *Evropeiskaya assotsiatsiya geologov i inzhenerov, Geomodel 2007 – 9-ya nauch.-prakt. konferentsiya EAGE po geologorazvedke i razrabotke mestorozhdenii nefiti i gaza* [European Association of Geoscientists and Engineers, Geomodel 2007 – 9th Scientific and Practical Conference of the EAGE on Geological Exploration and Development of Oil and Gas Fields], September 2007 (in Russian)
8. Babayants P.S. *Metodologiya sovremennoi aero-geofizicheskoi interpretatsii* [Methodology of interpreting modern airborne geophysical data], *Razvedka i okhrana i nedr* [Prospecting and Protection of Mineral Resources]. 2015. 25–33 pp. (in Russian)
9. Kalmykov B.A. *Sovremennye aerogeofizicheskie tekhnologii pri poiskakh mestorozhdenii zolota* [Modern airborne geophysical technologies for gold deposit exploration], *XI Mezhd. nauch.-prakt. konf. TsNIGRI* [XI International Scientific and Practical Conference TSNIGRI], Moscow, 2022. 209–213 pp. (in Russian)
10. Kalmykov B.A., Lyovin F.D., Trusov A.A. *Vozmozhnosti sovremennykh aerogeofizicheskikh metodov pri prognozirovanii i poiskakh zolotorudnykh mestorozhdenii* [Opportunities of modern airborne geophysical methods in forecasting and exploration of gold ore deposits], *Zoloto i tekhnologii* [Gold and Technology]. 2017. No. 2. 64–70 pp. (in Russian)

Сведения об авторах:

Ашууров А.У., главный геофизик, «Центральная геолого-геофизическая» экспедиция АО «Узбекгеологоразведка» Министерства горнодобывающей промышленности и геологии Республики Узбекистан (г. Самарканд, Узбекистан), abrashurov1986@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0003-9239-1327>

Мурашкин С.С., начальник Аэрогеофизической партии, «Центральная геолого-геофизическая» экспедиция АО «Узбекгеологоразведка» Министерства горнодобывающей промышленности и геологии Республики Узбекистан (г. Самарканд, Узбекистан), sergej.murashkin.1990@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-9301-6605>

Авторлар туралы мәліметтер:

Ашууров А.У., бас геофизик, Өзбекстан Республикасының тау-кен өнеркәсібі және геология министрлігінің «Орталық геологиялық-геофизикалық» экспедициясының «Өзбекгеологоразведка» акционерлік қоғамы (Самарканд қ., Өзбекстан)

Мурашкин С.С., Аэрогеофизикалық топтың меңгерушісі, Өзбекстан Республикасының тау-кен өнеркәсібі және геология министрлігінің «Орталық геологиялық-геофизикалық» экспедициясының «Өзбекгеологоразведка» акционерлік қоғамы (Самарканд қ., Өзбекстан)

Information about the authors:

Ashurov A.U., Chief Geophysicist, «Central Geological-Geophysical» expedition of Uzbek Geological Search JSC of the Ministry of Mining Industry and Geology of the Republic of Uzbekistan (Samarkand, Uzbekistan)

Murashkin S.S., Head of the Aerogeophysical Team, «Central Geological-Geophysical» expedition of Uzbek Geological Search JSC of the Ministry of Mining Industry and Geology of the Republic of Uzbekistan (Samarkand, Uzbekistan)

Код МРНТИ 38.35.21

M.A. Mizernaya, *B.B. Agaliev, Zh.A. Shayakhmetova, Y.T. Yeskaliyev
D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

FEATURES OF THE MICROELEMENT COMPOSITION OF ORE OF THE ARTEMYEVSKOYE DEPOSIT (RUDNY ALTAI)

Abstract. The mineralogical composition of ores from the Artemyevskoye deposit, located in the Irtysh ore district of the Rudny Altai polymetallic belt, has been investigated. The ores exhibit complex mineralogical zoning and are classified into barite-polymetallic, polymetallic, copper-zinc, and copper types. Both the primary ores and their beneficiation products contain elevated concentrations of a wide range of trace elements, which in many cases exceed the Clarke values for volcanogenic-sedimentary rocks by an order of magnitude or more. Against the background of progressive depletion of polymetallic ore reserves in the Rudny Altai, the processing and recycling of mining and beneficiation waste are considered a potentially sustainable source not only of major metals but also of strategically important and commercially valuable by-products (*Bi, Cd, Ga, Sb, In* and others).

Key words: Rudny Altai belt, polymetals, mineral composition, sulfide ores, rare elements, waste recycling, sustainable mining.

Артемьев кен орнының кендерінің микроэлементтік құрамының ерекшеліктері (Кенді Алтай)

Аннотация. Артемьев кен орнының минералдық құрамы зерттелді. Кенорны кенді Алтай полиметалл белдеуінің Прииртыш кен ауданы аумағында орналасқан. Кендер күрделі минералдық аймақталуымен ерекшеленеді және барит-полиметаллды, полиметаллды, мыс-мырышты және мыс типтеріне бөлінеді. Түпкі кендер де, оларды байыту өнімдері де микроэлементтердің кең спектрінің жоғары концентрацияларын қамтиды, олар көптеген жағдайларда жанартаутекті-терригенді жыныстарға тән кларк мәндерінен бір немесе бірнеше ретті жоғары болады. Кенді Алтайдағы полиметалл кендерінің қорының біртіндеп сарқылу жағдайында өндіру және байыту кезіндегі техногендік қалдықтарды қайта өңдеуге тарту негізгі металдардың ғана емес, сонымен қатар стратегиялық маңызы және коммерциялық тұрғыдан құнды қоспа компоненттердің (*Bi, Cd, Ga, Sb, In* және т. б.) тұрақты көзі ретінде қарастырылады.

Түйінді сөздер: Кенді Алтай белдемі, полиметаллдар, минералдық құрамы, сульфидті кендер, сирек элементтер, қалдықтарды қайта өңдеу, тұрақты тау-кен өндірісі.

Особенности микроэлементного состава руд Артемьевского месторождения (Рудный Алтай)

Аннотация. Изучен минералогический состав руд месторождения Артемьевское, расположенного в Прииртышском рудном районе Рудно-Алтайского полиметаллического пояса. Руды характеризуются сложной минералогической зональностью и подразделяются на барит-полиметаллические, полиметаллические, медно-цинковые и медные типы. Как коренные руды, так и продукты их обогащения содержат повышенные концентрации широкого спектра микроэлементов, которые во многих случаях превышают кларковые значения для вулканогенно-осадочных пород на порядок и более. На фоне прогрессирующего истощения запасов полиметаллических руд Рудного Алтая вовлечение в переработку техногенных продуктов добычи и обогащения рассматривается как потенциально устойчивый источник не только основных металлов, но и стратегически важных и коммерчески значимых попутных компонентов (*Bi, Cd, Ga, Sb, In* и др.).

Ключевые слова: Рудно-Алтайский пояс, полиметаллы, минеральный состав, сульфидные руды, редкие элементы, переработка отходов, устойчивая добыча полезных ископаемых.

Introduction

In recent years, due to rising global prices for non-ferrous metals, the problem of replenishing the mineral resource base for strategically important rare and non-ferrous metals has become particularly acute in Kazakhstan. The main constraints to the development of the mining industry in the republic include limited geological exploration and a declining supply of raw materials, largely due to the lack of comprehensive extraction of useful ore components.

One illustrative example of the complex composition of ores is the Artemyevskoye polymetallic deposit, located in the East Kazakhstan region. It is one of the major deposits in the Rudny Altai region and is distinguished by significant volumes of both mined and accumulated man-made formations, which can be considered a promising source of non-ferrous and rare metals.

The purpose of this article is to clarify the mineral and elemental composition of various commercial ore types at the Artemyevskoye polymetallic deposit, identifying associated rare metal mineralization.

The main objectives are to study the mineral and trace element composition of primary ores and man-made mineral formations (dumps and beneficiation tailings); using modern, high-precision laboratory research methods (ICP-MS, scanning electron microscopy), to clarify the composition and contents of commercially attractive by-products in ores and beneficiation products.

The study examines the geological structure and mineral composition of the Artemyevsky deposit, assesses the rare metal resources in its ores, and examines the potential of the

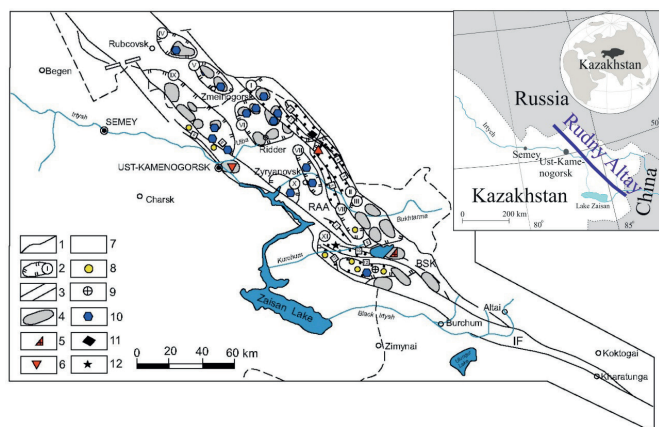
beneficiation plant's tailings ponds as a source of secondary metals.

Material and methods

The research methodology was based on a comprehensive analysis of geological data from prospecting and exploration work conducted at various times. Samples were collected from various ore types at the Artemyevskoye deposit (50 specimens). The mineral and elemental composition of the ores was studied using modern analytical methods: inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) to determine the weight content of trace elements, and scanning electron microscopy with energy-dispersive analysis to study the mineral composition [1].

Geological structure of the Artemyevsky deposit. The Artemyevskoye deposit is located 9 km from the town of Shemonaikha in the East Kazakhstan region. It was discovered in 1984 and is currently developed by Kazakhmys JSC. The deposit is located in the Priirtyshsky ore district of the Kazakh part of Rudny Altai (Fig. 1) and is part of the Artemyevsko-Kamyshinskaya ore zone. In plan view, the ore zone is traced between the Kamyshinsky and Artemyevsky blocks; the Kamyshinskoye deposit (discovered in 1958) was developed earlier, while the Artemyevskoye deposit was explored between 1985 and 1993 and commissioned in 2005 (according to other sources, pilot production since 1994, and full-scale production since 2005) [2, 3].

The Kamyshin-Artemyevsky ore zone extends for approximately 4 km, is approximately 600 m wide, and is up to 200 m thick. Its structures are nearly flat, dipping northeast-



1 – boundaries of the Rudny-Altai belt; 2 – boundaries of ore regions (I, II, III – Bukhtarma, IV – Rubtsovsky, V – Zmeinogorsk, VI – Leninogorsk, VII – Zyryanovsky, VIII, IX – Priirtyshsky); 3 – Irtysh shear zone; 4 – ore regions; 8-12 – deposits: 8 – copper; 9 – copper-zinc; 10 – pyrite-polymetallic; 11 – lead-zinc; 12 – zinc-lead

Figure 1. Layout of the Rudnoaltai pyrite-polymetallic belt.
Сурет 1. Кендіалтай колчедан-полиметалл белдеуін орналастыру схемасы.

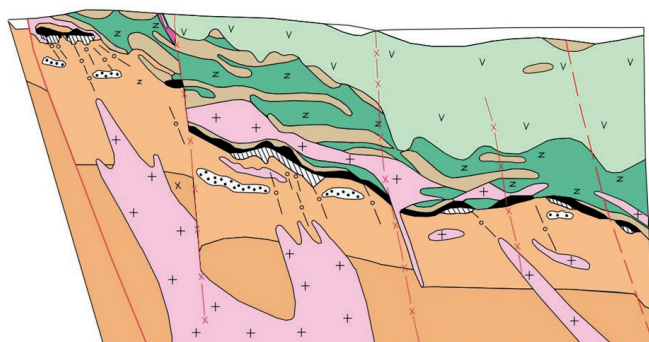
Рис. 1. Схема размещения Рудноалтайского колчеданно-полиметаллического пояса.

ward. The ore depth increases from southwest to northeast: while in the Kamyshinsky area (southwestern flank of the zone), ores were exposed at the surface (depths from 0 to 50 m), in the area of the Artemyevskoye deposit itself (northeastern flank), mineralization descends to a depth of ~900 m (Fig. 2). The main ore deposits of the Artemyevsky deposit are located in the depth range of 600–1600 m (Main deposit) and 800–1000 m (Western deposit), while smaller lens-shaped bodies are located at average depths of approximately 640–950 m. The thickness of individual ore bodies varies from a few meters to tens of meters (usually 6–17 m, maximum up to 40 m).

Ore mineralization is confined to volcanogenic-sedimentary rocks of the middle Devonian (D_2). The main ore bodies are concentrated within the contact of siltstones and basalts of the Gerikhovskaya Formation (lower frasnian D_2f_1 substage) with the overlying tuffs and lava breccias of the rhyolites of the Talovskaya Formation (middle Devonian D_2t_1). The ore field is complicated by intrusions of dacitic and diabase dikes associated with Late Devonian magmatism; however, the main contrasting granitoid intrusions are absent [4].

The formation of ore bodies was accompanied by intense hydrothermal-metasomatic alteration of the host rocks. At the base of the ore deposits, the rock section is heavily permeated with vein-disseminated sulfide mineralization: the host siltstones are observed to grow into zones of microquartzite, sericitolite, chloritolite, and quartz-sericite-chlorite metasomatites. Roof (hanging wall) rocks near the contact with the ore body are silicified and sericitized, reflecting the influence of post-ore hydrothermal solutions [5].

A fairly consistent vertical zonation is observed in the spatial distribution of the identified natural varieties of all the main ore bodies of the deposit. In the generalized ore intersection, the natural varieties are separated in the following sequence (from top to bottom): silver-polymetallic (lean, low-sulfide); barite-polymetallic (rich and ultra-rich); polymetallic; copper-zinc; copper.



1 – lava breccias of porphyry of the Talovskaya suite; 2 – siltstones -a and diabases b of the Gerikhovskaya suite; 3 – porphyry; 4 – porphyrites; 5 – plagiogranite-porphyry; 6 – copper-pyrite ores; 7 – copper-zinc ores; 8 – polymetallic ores; 9 – disseminated polymetallic mineralization; 10 – veinlet-disseminated copper mineralization

Figure 2. Longitudinal geological section of the Artemyevsky deposit.

Сурет 2. Артемьев кен орнының бойлық геологиялық бөлімі.

Рис. 2. Продольный геологический разрез Артемьевского месторождения.

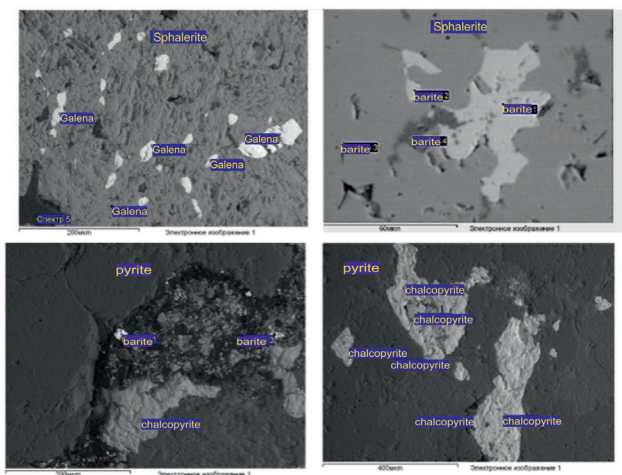
Features of the mineral composition of the ores of the Artemyevsky deposit. Main ore minerals. The ores of the Artemyevsky deposit are characterized by a complex polymineral composition. The total number of minerals exceeds 60, including 44 ore minerals. The main ore minerals are sphalerite (ZnS), galena (PbS), chalcopyrite ($CuFeS_2$), and pyrite (FeS_2). Minor ore minerals include fahlore, pyrrotite, marcasite, bornite, chalcocite, arsenopyrite, magnetite, and minerals of gold, silver, germanium, bismuth, and others.

«Fahlores» – a finely crystalline mixture of complex sulfosalts of silver, copper, antimony, and arsenic (phases such as freibergite, tetrahedrite, and tennantite) – play a significant role. The aforementioned sulfosalts (tetrahedrite-freibergite), as well as arsenopyrite ($FeAsS$), marcasite (FeS_2 , a parametric modification of pyrite), and other minerals are present as minor minerals. Rare and precious metals are noted among the rare minerals in the ores: native gold, electrum ($Au-Ag$ alloy), native silver and silver sulfides (acanthite Ag_2S , stephanite Ag_3SbS_4 , polybasite $(Ag,Cu)_{10}Sb_2S_{11}$, etc.), as well as sulfosalts of bismuth (bismuthinite Bi_2S_3), lead, and antimony (bournonite $PbSbS_3$, geocronite $Pb_{14}(Sb,As)_6S$, aikinite $PbCuBiS_3$, co-

salite $Pb_2Bi_2S_3$, etc.). Thus, in addition to the main sulfides, the ores contain a wide range of rare metal minerals and noble elements in the form of finely dispersed inclusions [6, 7, 8].

The main rock-forming (non-metallic) minerals in the ore are quartz, chalcedony, sericite, chlorite, calcite, barite, and other minerals typical of hydrothermally altered effusive rocks. The presence of significant amounts of barite ($BaSO_4$) in the upper parts of the ore zone correlates with elevated barium concentrations in the ores and classifies the upper ores as belonging to the barite-polymetallic subtype of pyrite ores.

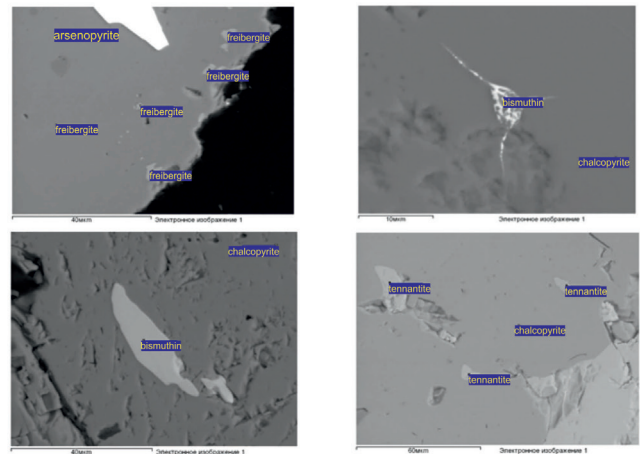
Minerals of the main and noble metals. The ores of the Artemyevsky deposit are classified as high-grade complex sulfide ores. The average grade of the main metals in the balance reserves is quite high: copper ~2.2%, lead ~2.2%, zinc ~7.6% (Fig. 3). In addition, the ores contain precious metals: gold ~0.17 g/t and silver ~13 g/t on average. According to the technological data of the processing plant, the gold content in the original ore can be about 0.6 g/t, and silver-up to 50–60 g/t (in the enriched mass, which depends on sampling and enrichment of high-grade areas). Thus, the ore composition contains industrial concentrations of **Au** and **Ag**, which are extracted as a by-product during flotation enrichment (into copper and lead concentrate, or gravity concentrates are concentrated) [9, 10].



a – 1 is the fluid dispersion of galena in sphalerite 3; b – barite crystals in sphalerite; c – 1, 3, 4 – galena, 2 – chalcopyrite in a large grain of pyrite; d – 1, 2, 3 chalcopyrite in pyrite

Figure 3. The ratio of the main ore minerals.
Сурет 3. Негізгі кен минералдарының қатынасы.
Рис. 3. Соотношение основных рудных минералов.

Trace and rare elements. Along with the main sulfide minerals, gold and silver, the ores of the Artemyevsky deposit contain a whole complex of associated elements or rare metals. These include: cadmium (**Cd**), selenium (**Se**), indium (**In**), bismuth (**Bi**), antimony (**Sb**), mercury (**Hg**), arsenic (**As**), etc. The average contents of some of these elements in the ores of the Artemyevsky deposit, according to the State Reserves Committee, are: **Cd** from 80.0 to 480.0 g/t; **Se** from 40 to 70 g/t; **Bi** up to 80 g/t; **Sb** up to 470.0 g/t; **As** – 830.0 g/t; **In** up to 1.0 g/t; **Se** up to 45.4 g/t; **Te** up to 10.0 g/t; **Tl** 33.0 g/t; **Ga** – 15.4 g/t (Fig. 4).



a – large grain of arsenopyrite, gray-fahlore (freibergite $Cu_{12}As_4S_{13}(Ag)$); b – bismuthinite with increased selenium content in chalcopyrite; c – fahlore in chalcopyrite; d – 3 – fahlore (tennantite Cu_3AsS) in a sphalerite grain

Figure 4. Microelement composition of ores of the Artemyovskoye deposit.
Сурет 4. Артемьев кен орны кендерінің микроэлементтік құрамы.
Рис. 4. Микроэлементный состав руд Артемьевского месторождения.

The figure below (Fig. 5) presents the average concentrations of trace and minor elements (**Pb-Ni**, log scale) in **Cu**-pyrite, pyrite, **Cu**-pyrite-polymetallic, polymetallic, and barite-polymetallic ores of the Artemyevskoye deposit, based on ICP-MS analysis performed at the VERITAS laboratory of D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University. The dashed black line indicates Clarke values for comparison [11].

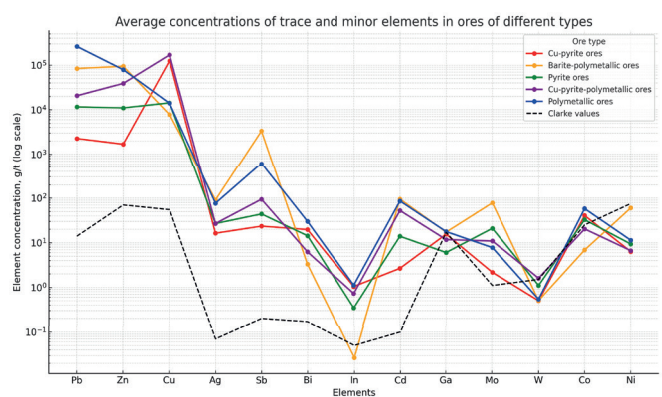


Figure 5. Average concentrations of trace and minor elements in the different types of ores of Artemyevsky deposit.
Сурет 5. Артемьев кен орнының әр түрлі кендеріндегі сирек және қосымша элементтердің орташа концентрациясы.
Рис. 5. Средние концентрации редких и второстепенных элементов в различных типах руд Артемьевского месторождения.

Man-made mineral formations of ores of the Artemyevsky deposits. Modern technologies for the extraction and processing of mineral raw materials ensure, on average, the utilization of only about 3% of the rock mass extracted from the subsoil; the remainder ends up in waste heaps and tailings dams. Up to 50% of non-ferrous metals are lost during the enrichment of complex ores, and the production of 1 ton of finished non-ferrous metal is accompanied by the formation of 1,000–3,000 tons of host and overburden rock and up to 100 tons of enrichment tailings.

Thus, with mineral resources becoming depleted, rational subsoil use and the inclusion of man-made formations in processing are becoming increasingly important. Ores from the Artemyevsky and neighboring deposits are processed at the Nikolayevskaya processing plant. Tailings from the Artemyevsky and other deposits primarily consist of gangue (quartz, sericite, chlorite, feldspar material) and pyrite remaining after the extraction of copper, lead, and zinc.

Metals in the tailings are present in trace amounts: zinc, copper, and lead together typically do not exceed fractions of a percent (e.g., **Zn** ~0.3–0.5%, **Cu** ~0.1–0.2%, **Pb** ~0.1% in final tailings), depending on the degree of extraction. When processing high-grade ores, some of the valuable component is always lost with tailings: for example, flotation recovery of zinc and lead is ~85–90%, copper ~70–80%, and gold ~60–70%, with the remainder ending up in tailings. Thus, significant metal resources accumulate in tailings dams. Estimates indicate that waste tailings may contain hundreds of thousands of tons of pyrite sulfur, tens of thousands of tons of zinc and copper, thousands of tons of lead, significant amounts of barium (as barite), as well as gold and silver distributed between the pyrite and silicate mass [12].

Furthermore, man-made tailings concentrate rare metals: the aforementioned indium, selenium, bismuth, and cadmium are almost entirely lost in tailings, as they are not specifically extracted. For example, with an average indium grade of ~1 g/t in ore, approximately 1 ton of indium accumulates in the annually generated tailings (volume > 1 million tons); Similarly, cadmium (approximately 50–80 g/t in ore) accumulates in tailings in tens of tons annually. A significant portion of selenium and tellurium associates with pyrite and also remains in the tailings.

From the analysis of this graph, it can be concluded that the tailings of the Nikolaev processing plant are an additional source of mineral resources for the additional extraction of non-ferrous, precious and rare metals.

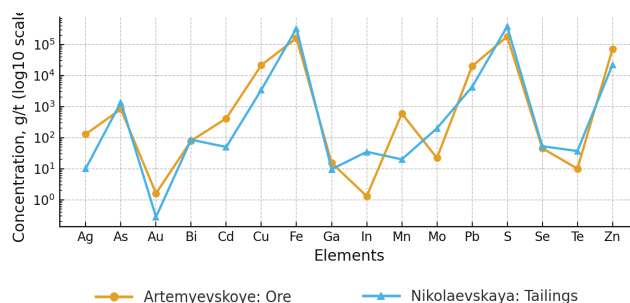


Figure 6. The contents of the main elements in ores and tailings of the Artemyevskoye deposit.

Сурет 6. Армьевское кен орнының кендері мен қалдықтарындағы негізгі элементтердің құрамы.

Рис. 6. Содержания основных элементов в рудах и хвостах месторождения Армьевское.

Conclusion

According to the research results, it was established that the Artemyevskoye deposit, in addition to the main components (copper, zinc, lead), its ores and processed products contain a number of rare and trace elements. Significant volumes of already accumulated man-made waste dumps and enrichment tailings can be considered as secondary sources of valuable metals. Based on the obtained data, it is possible to recommend: (1) when processing the ores of the Artemyevskoye deposit, paying more attention to monitoring the distribution of indium, selenium, bismuth, etc. in the products, with the possibility of their selective concentration; (2) conducting pilot tests to extract **Au** and **Ag** from old tailings (for example, by heap leaching or gravity) – given that a significant portion of the gold remains in the tailings, this may be economically justified; (3) monitor the condition of the tailings storage facility and the quality of filtration waters, since the high content of sulphides (pyrite) in the tailings can lead to acid drainage and migration of elements such as **As**, **Cd**, **Se** – this requires environmental measures in parallel with the extraction of valuable components.

Acknowledgments

This research was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan under the scientific project BR24992854 «Development and implementation of competitive science-based technologies to ensure sustainable development of mining and metallurgy industry East Kazakhstan region».

REFERENCES

1. *Osobennosti geotektonicheskogo razvitiya i rudnosnosti Yuzhnogo Altaya (Vostochnyi Kazakhstan) [Features of geotectonic development and ore content of the Southern Altai (Eastern Kazakhstan)], D'yachkov B.A [et al.], Geologiya rudnykh mestorozhdenii [Geology of ore deposits]. 2021. V. 63. No. 5. 399–426 pp. (in Russian)*
2. *Nikolaeva A.N., Mazurov A.K. Tellurium-bismuth mineralization in ores of the Maleevskoe pyrite deposit (Eastern Kazakhstan) // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2024. V. 335 (5). 233–250 pp. (in English)*
3. *Perspektivy ukrepleniya mineral'no-syr'evoi bazy metallurgii tsvetnykh metallov Kazakhstana [Prospects for strengthening the mineral resource base of non-ferrous metallurgy in Kazakhstan], Mizernaya M.A. [et al.], Otechestvennaya geologiya [Domestic geology]. 2021. No. 5. 3–16 pp. (in Russian)*

4. *Dannye khimicheskogo analiza rudy Artem'evskogo mestorozhdeniya [Chemical analysis data of ore from the Artemyevsky deposit], Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya [Integrated use of mineral raw materials]. 2018. No. 2 (10). 20–27 pp. (in Russian)*
5. *Korporatsiya «Kazakhmys» nachala modernizatsiyu Nikolaevskoi obogatitel'noi fabriki (press-reliz) [Kazakhmys Corporation has begun modernization of the Nikolaev processing plant (press release)]. Kazinform, 25.06.2012 (in Russian)*
6. *Proekt rekonstruktsii khvostovogo khozyaistva Nikolaevskoi obogatitel'noi fabriki: otchet TOO «Vostoksvetmet» [Project for reconstruction of the tailings storage facility of the Nikolaev processing plant: Report of Vostoksvetmet LLC.]. Ust'-Kamenogorsk: Kazmekhanobr, 1992. 120 p. (in Russian)*
7. *Sepidbar F., Mirnejad H. Mineralogy, geochemistry and geotectonic of plagiogranites from Shahre-Babak ophiolite, Zagros zone, Iran // Journal of Earth Science. 2016. V. 27. 507–518 pp. (in English)*
8. *Osnovnye gipotezy o genezise kolchedanno-polimetallicheskih mestorozhdenii Rudnogo Altaya [The main hypotheses about the genesis of pyrite-polymetallic deposits of Rudny Altai], Kayupov A.K. [et al.], Problemy genezisa kolchedanno-polimetallicheskih mestorozhdenii Rudnogo Altaya [Problems of genesis of pyrite-polymetallic deposits of Rudny Altai]. Almaty, 1977. 5–27 pp. (in Russian)*
9. *Mestorozhdeniya svintsa i tsinka Kazakhstana. Mineral'nye resursy Kazakhstana. Spravochnik [Lead and zinc deposits in Kazakhstan. Mineral Resources of Kazakhstan. Handbook]. Almaty, 1997. 152 p. (in Russian)*
10. *Gas'kov I.V. Osobennosti endogennoi metallogenii Gornogo i Rudnogo Altaya (Rossiya) [Features of endogenous metallogeny of the Gornyy and Rudny Altai (Russia)], Geologiya i geofizika [Geology and Geophysics]. 2018. V. 59. No. 8. 1254–1270 pp. (in Russian)*
11. *Sulphur and lead isotope geochemistry of sulphide minerals from the Zn-Pb-Cu-Ag-Au Lemarchant volcanogenic massive sulphide (VMS) deposit, Newfoundland, Canada / Shannon B. Gilla [et al.] // Ore Geology Reviews. 2019. V. 3. 422–435 pp. (in English)*
12. *Ridley J. Ore Deposit Geology: Cambridge: Cambridge University Press, 2016. 406 p. (in English)*

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. *Оңтүстік Алтайдың геотектоникалық дамуы мен рудалылығының ерекшеліктері (Шығыс Қазақстан) / Дьячков Б.А. [және т. б.] // Кенді кен орындарының геологиясы. 2021. Т. 63. № 5. Б. 399–426 (орыс тілінде)*
2. *Николаева А.Н., Мазуров А.К. Малеевское пирит кен орны кендеріндегі теллюрум-висмут минералдануы (Шығыс Қазақстан) // Томск политехникалық университетінің хабаршысы. Инженерлік геоактивтер. 2024. Т. 335 (5). № 5. Б. 233–250 (ағылшын тілінде)*
3. *Пяткова А. П., Дьячков Б. А. және т.б. Қазақстанның түсті металлургиясының минералдық-шикізат базасын нығайту перспективалары / Мизерная М.А. [және т. б.] // Отандық геология. 2021. № 5. Б. 3–16 (орыс тілінде)*
4. *Артемов кен орны рудаларының химиялық талдауының деректері // Минералды шикізатты кешенді пайдалану. 2018. № 2. Б. 20–27 (орыс тілінде)*
5. *«Қазақмыс» корпорациясы Николаев байыту фабрикасын жаңғыртуды бастады (баспасөз хабарламасы) // Қазақпарат, 25.06.2012 (орыс тілінде)*
6. *Николаев өңдеу зауытының қалдық қоймасын қайта құру жобасы: «Востокцветмет» ЖШС есебі, Өскемен: Казмеханообр, 1992. 120 б. (орыс тілінде)*
7. *Сепидбар Ф., Мирнежад Х. Шахре-Бабак офиолитінен алынған плагиограниттердің минералогиясы, геохимиясы және геотектониясы, Загрос аймағы, Иран // Жер туралы ғылым журналы. 2016. Т. 27. Б. 507–518 (ағылшын тілінде)*
8. *Кенді Алтайдың колчедан-полиметалл кен орындарының генезисі туралы негізгі гипотезалар / Каюпов А.К. [және т. б.] // Кенді Алтайдың пирит-полиметалл кен орындарының генезисі мәселелері: Алматы, 1977. Б. 5–27 (орыс тілінде)*
9. *Қазақстанның қорғасын және мырыш кен орындары. Қазақстанның пайдалы қазбалары: Анықтамалық. Алматы, 1997. 152 б. (орыс тілінде)*
10. *Гаськов И.В. Таулы және Кенді Алтайдың (Ресей) эндогендік металлогениясының ерекшеліктері // Геология және геофизика. 2018. Т. 59. № 8. Б. 1254–1270 (орыс тілінде)*
11. *Zn-Pb-Cu-Ag-Au Lemarchant вулканогендік массивті сульфид (VMS) кен орнының күкірт пен қорғасынның сульфидті минералдарының геохимиясы, Ньюфаундленд, Канада / Шеннон Б. Гилла [және т. б.] // Кен геологиясына шолулар. 2019. Т. 3. Б. 422–435 (ағылшын тілінде)*
12. *Ридли Дж. Кен кен орнының геологиясы: Кембридж: Кембридж университетінің баспасы, 2016. 406 б. (ағылшын тілінде)*

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Особенности геотектонического развития и рудоносности Южного Алтая (Восточный Казахстан) / Дьячков Б.А. [и др.] // Геология рудных месторождений. 2021. Т. 63. № 5. С. 399–426 (на русском языке)*

2. Николаева А.Н., Мазуров А.К. Теллуру-висмутовая минерализация в рудах Малеевского колчеданного месторождения (Восточный Казахстан) // Вестник Томского политехнического университета. Инженерия геоактивов. 2024. Т. 335 (5). № 5. С. 233–250 (на английском языке)
3. Перспективы укрепления минерально-сырьевой базы металлургии цветных металлов Казахстана / Мизерная М.А. [и др.] // Отечественная геология. 2021. № 5. С. 3–16 (на русском языке)
4. Данные химического анализа руды Артемьевского месторождения // Комплексное использование минерального сырья. 2018. № 2 (10). С. 20–27 (на русском языке)
5. Корпорация «Казахмыс» начала модернизацию Николаевской обогатительной фабрики (пресс-релиз) // Казинформ, 25.06.2012 (на русском языке)
6. Проект реконструкции хвостового хозяйства Николаевской обогатительной фабрики: отчет ТОО «Востокцветмет», Усть-Каменогорск: Казмеханобр, 1992, 120 с. (на русском языке)
7. Сепидбар Ф., Мирнеджад Х. Минералогия, геохимия и геотектоника плагиогранитов из офиолитов Шахре-Бабак, зона Загрос, Иран // Журнал наук о Земле. 2016. Т. 27. С. 507–518 (на английском языке)
8. Основные гипотезы о генезисе колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая / Каюпов А.К. [и др.] // Проблемы генезиса колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая: Алматы, 1977. С. 5–27 (на русском языке)
9. Месторождения свинца и цинка Казахстана. Минеральные ресурсы Казахстана: Справочник. Алматы, 1997. 152 с. (на русском языке)
10. Гаськов И.В. Особенности эндогенной металлогении Горного и Рудного Алтая (Россия) // Геология и геофизика. 2018. Т. 59. № 8. С. 1254–1270 (на русском языке)
11. Геохимия изотопов серы и свинца в сульфидных минералах из вулканогенного массивного сульфидного месторождения Zn-Pb-Cu-Ag-Au Лемаршан, Ньюфаундленд, Канада / Шеннон Б. Гилла [и др.] // Ore Geology Reviews. 2019. Т. 3. С. 422–435 (на английском языке)
12. Ридли Дж. Геология рудных месторождений: Кембридж: Издательство Кембриджского университета, 2016. 406 с. (на английском языке)

Information about the authors:

Mizernaya M.A., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor at the School of Earth Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan), mizernaya58@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8618-7352>

Agaliyeva B.B., Ph.D, Research Scientist, Senior Lecturer at the School of Earth Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan), agaliyeva_00@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5682-8451>

Shayakhmetova Zh.A., Senior Lecturer at the School of Earth Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan), szhyldyz_1808@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0009-8832-378X>

Yeskaliyev Y.T., Postdoctoral Researcher, School of Earth Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan), yertayyeskaliyev@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0899-601X>

Авторлар туралы мәліметтер:

Мизерная М.А., г.м.ғ.к, Жер туралы ғылымдар мектебінің қауымдастырылған профессоры, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті (Өскемен қ., Қазақстан)

Ағалиева Б.Б., Ph.D докторы, ІФК, Жер туралы ғылымдар мектебінің аға оқытушысы, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті (Өскемен қ., Қазақстан)

Шаяхметова Ж.А., докторант, жер туралы ғылымдар мектебінің аға оқытушысы, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті (Өскемен қ., Қазақстан)

Ескалиев Е.Т., постдокторант, Жер туралы ғылымдар мектебі, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті (Өскемен қ., Қазақстан)

Сведения об авторах:

Мизерная М.А., к.г.-м.н., ассоциированный профессор школы наук о Земле, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)

Ағалиева Б.Б., доктор Ph.D, ВНС, ст. преподаватель школы наук о Земле, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)

Шаяхметова Ж.А., докторант, ст. преподаватель школы наук о Земле, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)

Ескалиев Е.Т., постдокторант школы наук о Земле, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)

Код МРНТИ 36.23.27

О.Г. Бесимбаева, Е.Н. Хмырова, *М.Б. Игемберлина, Г.Е. Жунусова

НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан)

НАБЛЮДЕНИЯ ЗА СОСТОЯНИЕМ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В РАЙОНАХ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы вредного влияния очистных выработок на подрабатываемые объекты (здания, сооружения, коммуникации), которое проявляется в перемещениях и деформациях грунта в их основании, перемещении сооружений, в изменении напряжений и несущей способности конструкций, в появлении трещин в стенах зданий и т. д. Для обеспечения сохранности сооружений и безопасности населения в районах подземной разработки угольных месторождений необходимо, чтобы перемещения и деформации земной поверхности не превышали предельных, вызывающих предельное состояние и разрушение объекта. Правильный выбор методов охраны сооружений немаловажен без изучения взаимосвязи деформаций грунта и сооружений. Исследования состояния объектов должно проводиться в комплексе с изучением горнотехнических условий разработки и натуральными инструментальными наблюдениями за подрабатываемыми объектами.

Ключевые слова: мульда сдвижения, земная поверхность, безопасная подработка, подземные горные разработки, угол падения пласта, геодезический мониторинг, отклонение от вертикали, опоры ЛЭП, допустимые деформации, предельные деформации.

Көмір кен орындарын жерасты игеру аудандарындағы ғимараттар мен құрылыстардың жай-күйін бақылау

Аңдатпа. Мақалада тазарту қазбаларының өңделетін объектілерге (ғимараттарға, құрылыстарға, коммуникацияларға) зиянды әсері қарастырылады, бұл олардың негізінде топырақтың орын ауыстыруы мен деформациясында, құрылыстардың орын ауыстыруында, құрылымдардың кернеуі мен көтерігіштігінің өзгеруінде, ғимараттардың қабырғаларында жарықтардың пайда болуында және т. б. жерасты игеру аудандарында құрылыстардың сақталуын және халықтың қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін көмір кен орындары жер бетінің қозғалысы мен деформациясы объектінің шекті күйі мен бұзылуын тудыратын шекті деңгейден аспауы керек. Құрылыстарды қорғау әдістерін дұрыс таңдау топырақ пен құрылыстардың деформацияларының өзара байланысын зерттей-ақ мүмкін емес. Объектілердің жай-күйін зерттеу игерудің тау кен техникалық жағдайларын зерделеумен және жағдамалы объектілерді табиғи аспаптық бақылаумен кешенді түрде жүргізілуі тиіс.

Түйінді сөздер: жьылу мульдасы, жер беті, қауіпсіз жұмыс, жерасты тау-кен қазбалары, қабаттың құлау бұрышы, геодезиялық мониторинг, тігінен ауытқу, электр желілерінің тіректері, рұқсат етілген деформациялар, шекті деформациялар.

Monitoring the condition of buildings and structures in areas of underground mining of coal deposits

Abstract. The article discusses the harmful effects of sewage treatment plants on workable facilities, which is manifested in movements and deformations of the soil at their base, displacement of structures, changes in stresses and bearing capacity of structures, cracks in the walls of buildings, etc. To ensure the safety of structures and the safety of the population in areas of underground mining of coal deposits, it is necessary that the movement and the deformations of the Earth's surface did not exceed the limits, causing the ultimate condition and destruction of the object. The correct choice of methods for protecting structures is unthinkable without studying the deformations of the soil and structures. Research on the condition of facilities should be carried out in conjunction with the study of mining conditions and natural instrumental observations of the facilities being worked on.

Key words: displacement range, the Earth's surface, safe part-time work, underground mining, angle of incidence of the formation, geodetic monitoring, deviation from the vertical, transmission line supports, permissible deformations, marginal deformations.

Введение

При подземной разработке угольных месторождений вопросам охране окружающей среды уделяется особое внимание, так как они представляют собой комплекс специальных мероприятий, которые в первую очередь направлены на увеличение полноты выемки полезных ископаемых из недр, а также уменьшение вредного воздействия геомеханических процессов, происходящих в массиве горных пород, на состояние земной поверхности. Наряду с этим возникает необходимость снижения негативного влияния уровня подземных вод и контроля над их химическим составом, так как данные показатели напрямую воздействуют на загрязнение почвы, открытые водоемы и увеличивают объем выброса токсичных примесей в атмосферу. Согласно утвержденным санитарным нормам и правилам уровень допустимого показателя на природные и инженерные объекты, подлежащие охране, зависят от ряда факторов, например, таких как назначение, конструктивное решение, особенности расположения и условия эксплуатации.

В связи с вышеуказанным, при разработке полезных ископаемых в обязательном порядке необходимо проводить геодезический мониторинг за состоянием подрабатываемой территории горнодобывающего предприятия и прилегающих к ним территорий. Результаты систематического мониторинга позволяют производить прогнозирование за счет создания моделирования поверхности и на основании полученных данных своевременно выявить наиболее

опасные участки и принять соответствующие меры. Проведение геодезического мониторинга является одной из первоочередных задач на протяжении всего периода разработки месторождений полезных ископаемых.

В последнее время за счет увеличения объемов ведения горных работ как подземным, так и открытым способами в Республике Казахстан на законодательном уровне приняты к исполнению нормативные документы, направленные на исследование геомеханического состояния недр, и для реализации данной задачи ежегодно выделяется финансирование [1].

Проблемой изучения процесса сдвижения горных пород и деформаций земной поверхности непосредственно на территории Карагандинского угольного бассейна и на других месторождений на протяжении многих лет в рамках выполнения хоздоговорных тем занимаются ученые ведущих вузов Республики Казахстан.

Для обеспечения безопасного ведения горных работ необходимо изучать физико-механические свойства горных пород, и в зависимости от их характеристик, глубины разработки месторождения, наличия геологических нарушений, трещиноватости массива, геометрических параметров полезного ископаемого (мощности угольного пласта, угла падения и азимута простирания) для выбора наиболее оптимальной системы разработки с учетом вышеперечисленных факторов [2].

Цель охраны застроенной территории – обеспечение эксплуатационной надежности сооружений при мини-

мальных расходах на защитные мероприятия. Это достигается в том случае, если влияние горного фактора совместно с влиянием других обычных факторов не вызовет предельного состояния сооружения.

Характер и интенсивность сдвижений зависят от целого ряда геологических и горно-эксплуатационных факторов, от способа и режима ведения горных работ, изменяя которые, можно в определенных пределах сознательно воздействовать на течение процесса, то есть управлять им [3, 4].

Проведение прогноза и своевременное выявление негативных процессов, протекающих в массиве горных пород, а также предотвращение аварийных ситуаций являются одной из важных задач в горнодобывающей отрасли.

При плавном оседании над месторождением возникает углубление в земной поверхности – мульда оседания. Углы сдвижения зависят от многих факторов: строения пород, углов падения пластов, глубины работ, порядка отработки месторождения [3, 4].

Методы

Мониторинг зданий и сооружений проводится с целью обеспечения безопасности и эксплуатационной надежности объектов при их подработке. По результатам проведенного мониторинга определяется степень отклонения выявленных деформаций от допустимых значений; проводится анализ взаимосвязи между сдвигами массива горных пород и деформациями объектов инфраструктуры. Мониторинг позволяет провести анализ выявленных деформаций и разработку мероприятий по предупреждению и снижению недопустимых отклонений и негативных последствий с обязательным контролем над выполнением принятых решений.

Проведение мониторинга за сдвижением земной поверхности базируется на принципах постоянного наблюдения за изменениями, которые необходимы для своевременного выявления, оценки и прогнозирования опасных геологических процессов, что позволяет принимать обоснованные управленческие решения для обеспечения безопасности.

Ключевыми аспектами являются:

- принцип постоянного наблюдения: мониторинг основан на систематических наблюдениях за природными процессами, позволяющий отслеживать их динамику и выявлять закономерности;

- информационная основа: мониторинг опирается на сбор, обобщение и анализ данных о состоянии земной поверхности. Полученные данные позволяют не только констатировать изменения, но и делать прогнозы;

- основа для принятия решений: результаты мониторинга служат научно обоснованной базой для принятия управленческих решений, связанных с обеспечением безопасности людей и объектов экономики, а также с минимизацией негативных последствий сдвижения;

- использование современных технологий: современные методы, такие как лазерное сканирование, дистанционное зондирование Земли, высокоточное нивелирование, аэрофотосъемка с использованием лазерно-цифровых приборов позволяют получать точные и актуальные данные о деформациях земной поверхности, что делает мониторинг более эффективным;

- комплексный подход: мониторинг охватывает все стороны природной среды, включая геологию, что позволяет оценивать не только текущее состояние, но и прогнозировать развитие опасных процессов.

Разработка большинства шахт, входящих в состав АО «Qatmet», в том числе и шахты имени Костенко по добыче каменного угля ведется на протяжении более 80 лет. Основными вмещающими породами в районе ведения горных работ преимущественно являются аргиллиты, алевролиты и песчаники.

Система разработки влияет на процесс сдвижения размерами очистных выработок, величиной оставляемых целиков, способов управления кровлей. Сплошная система разработки в сочетании с большими размерами очистной выемки способствует проявлению сдвижения пород в виде плавного прогиба. Установлено, что при равномерном подвигании очистного забоя оседание налегающих слоев происходит равномерно. Однако в случае остановки работы очистного забоя плавность процесса сдвижения горных пород нарушается, что может привести к их разлому и образованию провалов с выходом на дневную поверхность [5].

Методика исследования сдвижения земной поверхности включает комплекс:

- инструментальных наблюдений;
- расчетов мульды сдвижения и производных деформаций;
- сопоставления фактических параметров с нормативами;
- анализа влияния горнотехнических факторов.

На основании расчетных деформаций земной поверхности и дальнейшем их сравнении с допустимыми и предельными деформациями устанавливаются правила безопасной добычи угля под объектами (здания, сооружения, железные дороги), подлежащими охране. Расчет параметров мульды сдвижения и ожидаемых деформаций земной поверхности выполнен в соответствии с «Правилами охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок в Карагандинском угольном бассейне» (Караганда, КазВНИМИ, 1997 г.) [6].

Для расчета параметров земной поверхности были использованы зависимости функций оседания земной поверхности и мульды сдвижения:

$$W(x) = W_{max} \cdot f(x) \quad (1)$$

где W_{max} – максимальное оседание в центре мульды;

$f(x)$ – функция формы мульды (например, по теории Лосева – логарифмическая или синусоидальная).

Расчеты были выполнены по методикам, разработанным КазВНИМИ, а также на основании научных работ российских ученых Мустафина М.Г., Орлова Г.В.

В зоне активного влияния горных работ расположены объекты, находящиеся непосредственно над выработанным пространством: пункты государственной геодезической сети, несколько участков автомобильных дорог, участок железной дороги и часть опор ЛЭП.

Горнотехнические условия планируемой отработки запасов угля приведены в таблице 1.

Таблица 1

Горнотехнические условия отработки лав

Кесте 1

Кенжарларды өңдеудің тау-кен техникалық шарттары

Table 1

Mining and technical conditions of lava mining

Наименование показателей	Лавы 45 К _{2,3} -з	Лавы 44 К ₇ -з	Лавы 48 К ₁₂ -1-в
Средняя глубина разработки, м	620	480	310
Вынимаемая мощность пласта, м	5,6	1,9	2,7
Угол падения пласта, град	9°	7°	6°
Длина, м	1100	1350	840
Скорость подвигания очистного забоя, м/мес	62	192	81
Способ управления кровлей	полное обрушение	полное обрушение	полное обрушение

Рассматриваемая земная поверхность ранее подработана горными работами по пластам К₁ и К₂.

На исследуемом участке горные работы ведутся на глубине порядка 310 м, что согласно установленным правилам, соответствует рассчитанной безопасной глубине.

Таблица 2
Подработанные участки ЛЭП

Геодезический мониторинг за вертикальностью опор ЛЭП выполняется способами направлений, малых углов и вертикального проектирования, то есть для определения крена конструкций на протяжении всего периода эксплуатации сооружения. Определения величин отклонения опор ЛЭП от вертикального положения было осуществлено электронным тахеометром Leica TPS 416 способом направлений, при этом измерения произведены в безотражательном режиме.

Кесте 2
ЭБЖ жұмыс істелген бөліктері

Damaged sections of power lines

Название высоковольтной линии	№ опор
ВЛ – 110 кВ «Караганда – Новый Город»	№ 34–49
ВЛ – 110 кВ «Новый Город – Сантехническая»	№ 12–20
ВЛ – 35 кВ «Новый Город – Костенко»	№ 13–26
ВЛ – 35 кВ «Новый Город – Вертикальная»	№ 18–27

Суть способа направлений заключается в следующем: определяют смещение центра верхнего сегмента относительно центра, расположенного на базовом сегменте, от одной из точек, то есть составляющая крена увеличивается вдоль оси обычной системы координат, начало ее координат совпадает с центром «нижний базовый сегмент», а ось х выровнена с направлением «точка наблюдения – центр базового сегмента». Особенно важным параметром в этом случае является смещение центра верхней секции относительно центра базовой секции между циклами наблюдений.

Отработка угольных пластов непосредственно под опорами линий электропередач (рис. 1) должна обязательно осуществляться на глубине не менее безопасной глубины ведения горных работ. Коэффициенты безопасности К_б приведены в таблице 3.

Крен опор ЛЭП определяется методом направлений:

Таблица 3
Коэффициент безопасности К_б для опор ЛЭП

$$i = \frac{\Delta x}{h}, \tag{2}$$

Кесте 3
ЭБЖ тіректері үшін К_к қауіпсіздік коэффициенті

Fs safety factor for power transmission poles

Опоры ЛЭП	Напряжение ЛЭП, кВ	К _б
Анкерные	220–400	100
Промежуточные	220–400	75
Анкерные	6–110	75
Промежуточные	6–110	20

где Δx – смещение центра верхней секции относительно базовой,

h – высота конструктивной секции опоры.

Маркшейдерско-геодезические работы на территории угольных бассейнов должны выполняться с учетом особых условий, возникающих в результате деформаций земной поверхности при эксплуатации месторождений [9].

Величина крена опор ЛЭП, находящихся в зоне влияния горных работ, по результатам наблюдений представлена в таблице 4.

Таблица 4

Результаты съемки крена опор ЛЭП

Кесте 4

ЭБЖ тіректерінің орамын түсіру нәтижелері

Table 4

The results of the survey of the roll of the power poles

ЛЭП	№ опор	Крен, м	ЛЭП	№ опор	Крен, м	ЛЭП	№ опор	Крен, м	ЛЭП	№ опор	Крен, м
ВЛ – 110 кВ «Караганда – Новый Город»	34	0,011	ВЛ – 110 кВ «Новый Город – Сантехническая»	12	0,001	ВЛ – 35 кВ «Новый Город – Костенко»	13	0,005	ВЛ – 35 кВ «Новый Город – Вертикальная»	18	0,002
	35	0,001		13	0,002		14	0,015		19	0,005
	36	0,027		14	0,033		15	0,016		20	0,007
	37	0,023		15	0,029		16	0,011		21	0,010
	38	0,003		16	0,009		17	0,010		22	0,020
	39	0,003		17	0,008		18	0,014		23	0,032
	40	0,031		18	0,005		19	0,023		24	0,026
	41	0,020		19	0,005		20	0,017		25	0,025
	42	0,007		20	0,005		21	0,026		26	0,015
	43	0,008					22	0,033		27	0,001
	44	0,004					23	0,003			
	45	0,003					24	0,005			
	46	0,003					25	0,011			
47	0,003			26	0,015						
48	0,003										
49	0,002										

Методика обследования зданий и сооружений в зонах влияния деформаций земной поверхности, вызванных подработкой земной поверхности, заключается в систематических наблюдениях за состоянием объектов, находящихся в зоне подработки [7, 8].

Маркшейдерско-геодезические работы на территории угольных бассейнов должны выполняться с учетом особых условий, возникающих в результате деформаций земной поверхности при эксплуатации месторождений [9].

В программу наблюдений также включены измерения расстояний по вертикали от проводов ЛЭП, пересекающих автодороги, до поверхности земли, результаты которых представлены в таблице 5.

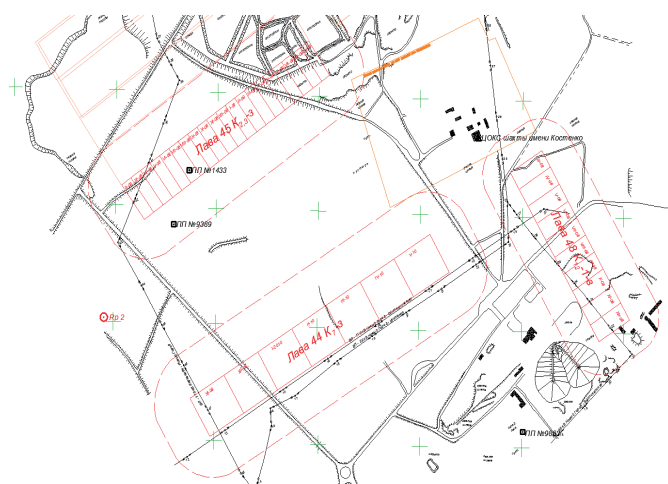


Рис. 3. План расположения очистных лав и опор ЛЭП на территории шахтного поля.

Сурет 3. Тазарту кенжарын орналастыру планы және шахта

аланының аумағындағы ЭБЖ тіректері.

Figure 3. A plan of the location of sewage treatment plants and power transmission poles on the territory of the mine field.

Таблица 5

Результаты съемки проводов ЛЭП

Кесте 5

ЭБЖ сымдарын түсіру нәтижелері

Table 5

The results of the survey of the roll of the power poles

Название ЛЭП	№ опор	Расстояние до земли, м
ВЛ – 110 кВ Караганда – Новый Город	№ 34 – № 35	6,1
ВЛ – 35 кВ Новый Город – Костенко	№ 16 – № 17	7,1

Значения кренов опор ЛЭП согласно правилам эксплуатации электроустановок не должны превышать величины 8×10^{-3} м. Расстояние по вертикали от проводов ЛЭП до поверхности земли в населенной и ненаселенной местности до земли и проезжей части улиц должно быть не менее 5 м [10].

Результаты исследований

Выбор мер охраны сооружений при разработке угольных месторождений в настоящее время регламентируется «Правилами охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных разработок в Карагандинском бассейне». Они определяют: зоны влияния горных разработок, способы охраны сооружений, условия безопасной подработки сооружений, величины параметров процесса сдвижения, способы построения предохранительных целиков под сооружениями различного назначения, методы расчета ожидаемых и вероятных величин сдвижения горных пород и деформаций земной поверхности, экономическую эффективность извлечения запасов из предохранительных целиков с применением мер охраны и другие поясняющие положения.

Характер распределения фактических деформаций соответствует классическим моделям мульды сдвижения. Максимальные значения крена наблюдаются в периферийной зоне мульды и совпадают с участками повышенной кривизны поверхности. Из-за отсутствия полного массива исходных данных (реперных наблюдений и динамики оседания) численные расчетные значения приведены в обобщенной форме. Тем не менее, расчетные тенденции согласуются с инструментальными измерениями, что подтверждает корректность использованной методики и дает возможность выделить локальные зоны концентрации деформаций.

Проведенные наблюдения показали, что для опор линий электропередач ВЛ – 110 кВ «Караганда – Новый Город» № 36, 37, 40, 41, 43; ВЛ – 110 кВ «Новый Город – Сан-

техническая» № 14, 15, 16, 17; ВЛ – 35 кВ «Новый Город – Костенко» № 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 25; ВЛ – 35 кВ «Новый Город – Вертикальная» № 21, 22, 23, 24, 25, 26, требования правил эксплуатации не выполняются.

На основании проведенных геодезических изысканий и полученных результатов в целях обеспечения безопасной эксплуатации линий связи и ЛЭП рекомендуется:

- маркшейдерской службе шахты Костенко совместно с эксплуатирующей ЛЭП организацией производить систематические наблюдения за опорами, расположенными непосредственно в зоне подработки;
- в случае необходимости произвести трассировку проводов и центрирование гирлянд изоляторов;
- усилить частоту мониторинга на участках максимальных деформаций и рассмотреть мероприятия по повышению устойчивости опор.

Выводы

1. Выполненные исследования полностью подтверждают наличие деформаций земной поверхности, связанных с влиянием подземной разработки пластов.
2. На исследуемом участке у отдельных опор ЛЭП зафиксированы значения крена, превышающие допустимые нормативные величины.
3. Вертикальный просвет проводов находится в пределах нормы, но требует проведения постоянного мониторинга.
3. Результаты сопоставления расчетных и фактических данных подтверждают корректность использованной методики.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Концепция экологической безопасности Республики Казахстан на 2004–2015 годы. Астана, 2003. 105 с. (на русском языке)
2. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок в Карагандинском угольном бассейне. Караганда, КазВНИМИ, 1997. 135 с. (на русском языке)
3. Орлов Г.В. Сдвижение горных пород и земной поверхности под влиянием подземной разработки: М.: Горное образование, 2010. 215 с. (на русском языке)
4. Alexey Renev, Sergey Svirko, Alexey Bykadorov, Valery Fedorin. Влияние скорости продвижения механизированной горной выработки с одиночным забоем на смещение земной поверхности в Кузбассе // Веб-конференция по окружающей среде, энергетике и наукам о Земле (E3S), 2017. Т. 15. С. 45–52 (на английском языке)
5. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях ПБ 07-269-98. 2021. 203 с. (на русском языке)
6. Голубев Ф.М., Иванова Л.А. Методика обследования зданий в зонах влияния сосредоточенных деформаций земной поверхности, вызванных подработкой земной поверхности и ликвидацией угольных шахт // Журнал теоретической и прикладной механики. 2021. № 3 (76). С. 46–52 (на русском языке)
7. Urmila Shrawankar, Pranay Mangulkar. Система мониторинга и безопасности для подземных угольных шахт // Международная конференция IEEE по энергетике, окружающей среде и интеллектуальному управлению, 2018. С. 175–181 (на английском языке)
8. Подземный и наземный контроль, мониторинг и интерпретация, численное моделирование и расчет защитной способности / Syd S. Peng [и др.] // Международный журнал горной науки и техники. 2019. Т. 29. Вып. 1. С. 79–85 (на английском языке)
9. Современное маркшейдерско-геодезическое обеспечение эксплуатации горных предприятий / Мустафин М.Г. [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. 2017. № 4. С. 190–203 (на русском языке)
10. Мониторинг изменений окружающей среды на поверхности в зоне оседания угольной шахты на основе данных дистанционного зондирования из нескольких источников / Wang Hui [и др.] // Рубежи науки о Земле. 2019. Т. 10. С. 3–18 (на английском языке)

ПАЙДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Қазақстан Республикасының 2004–2015 жылдарға арналған экологиялық қауіпсіздік тұжырымдамасы». Астана, 2003. 105 б. (орыс тілінде)
2. Қарағанды көмір бассейніндегі құрылыстар мен табиғи объектілерді жерасты тау-кен қазбаларының зиянды әсерінен қорғау қағидалары. Қарағанды, ҚазБҒЗМИ, 1997. 135 б. (орыс тілінде)
3. Орлов Г.В. Жер асты қазбаларының әсерінен тау жыныстары мен жер бетінің жылжуы: М.: Тау-кен білімі, 2010. 215 б. (орыс тілінде)
4. Alexey Renev, Sergey Svirko, Alexey Bykadorov, Valery Fedorin. Кузбасстағы жер бетінің ығысуына бір беті бар тау-кен станогының үдемелі жылдамдығының әсері // Қоршаған Орта, энергетика және жер туралы ғылымдар (E3S) конференциялар желісі, 2017. Т. 15. Б. 45–52 (ағылшын тілінде)
5. Құрылыстар мен табиғи объектілерді көмір кен орындарындағы жерасты тау кен қазбаларының зиянды әсерінен қорғау қағидалары ҚЕ 07-269-98. 2021. 203 б. (орыс тілінде)
6. Голубев Ф.М., Иванова Л.А. Жер бетін өңдеуден және көмір шахталарын жоюдан туындаған жер бетінің шоғырланған деформацияларының әсер ету аймақтарындағы ғимараттарды зерттеу әдістемесі // Теориялық және қолданбалы механика журналы. 2021. № 3 (76). Б. 46–52 (ағылшын тілінде)
7. Urmila Shrawankar, Pranay Mangulkar, Жерасты көмір шахталарына арналған мониторинг және қауіпсіздік жүйесі, IEEE энергетика, қоршаған орта және интеллектуалды басқару жөніндегі халықаралық конференциясы. 2018, Б. 175–181 (на английском языке)
8. Жерасты және жер үсті бақылауы, мониторингі және интерпретациясы, сандық модельдеу және қорғаныс қабілетін есептеу / Syd S. Peng [және т. б.] // Халықаралық тау-кен ғылымы мен техникасы журналы. 2019. Т. 29. Шығ. 1. Б. 79–85 (ағылшын тілінде)
9. Тау-кен кәсіпорындарын пайдалануды заманауи маркшейдерлік-геодезиялық қамтамасыз ету / Мустафин М.Г. [және т. б.] // Тула мемлекеттік университетінің жаңалықтары. Жер туралы ғылымдар. 2017. № 4. Б. 190–203 (орыс тілінде)
10. Бірнеше көздерден алынған қашықтықтан зондау деректері негізінде көмір шахтасының шөгү аймағындағы жер бетіндегі қоршаған ортаның өзгерістерін мониторингтеу / Wang Hui [және т. б.] // Жер туралы ғылымның шекаралары. 2019. Т. 10. Б. 3–18 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Kontseptsiya ekologicheskoi bezopasnosti Respubliki Kazakhstan na 2004–2015 gody [The concept of environmental safety of the Republic of Kazakhstan for 2004–2015]. Astana, 2003. 105 p. (in Russian)
2. Pravila okhrany sooruzhenii i prirodnykh ob'ektov ot vrednogo vliyaniya podzemnykh gornykh razrabotok v Karagandinskom ugol'nom basseine [Rules for the protection of structures and natural objects from the harmful effects of underground mining in the Karaganda coal basin]. Karaganda, KazVNIMI, 1997. 135 p. (in Russian)
3. Orlov G.V. Sdvizhenie gornykh porod i zemnoi poverkhnosti pod vliyaniem podzemnoi razrabotki [Displacement of rocks and the Earth's surface under the influence of underground mining]. Moscow: Gornoe obrazovanie, 2010. 215 p. (in Russian)
4. Alexey Renev, Sergey Svirko, Alexey Bykadorov, Valery Fedorin. The influence of advancing speed of powered mining stope with single face on earth's surface displacing in Kuzbass // Environment, Energy and Earth Sciences (E3S) Web of Conferences, 2017. V. 15. 45–52 pp. (in English)
5. Pravila okhrany sooruzhenii i prirodnykh ob'ektov ot vrednogo vliyaniya podzemnykh gornykh razrabotok na ugol'nykh mestorozhdeniyakh PB 07-269-98 [Rules for the protection of structures and natural objects from the harmful effects of underground mining in coal deposits SR 07-269-98]. 2021. 203 p. (in Russian)
6. Golubev F.M., Ivanova L.A. Metodika obsledovaniya zdaniy v zonakh vliyaniya sosredotochennykh deformatsii zemnoi poverkhnosti, vyzvannykh podrabotkoi zemnoi poverkhnosti i likvidatsiei ugol'nykh shakht [Methods of examining buildings in areas of influence of concentrated deformations of the Earth's surface caused by overworking of the Earth's surface and the liquidation of coal mines], Zhurnal teoreticheskoi i prikladnoi mekhaniki [Journal of Theoretical and Applied Mechanics]. 2021. No. 3 (76). 46–52 pp. (in Russian)
7. Urmila Shrawankar, Pranay Mangulkar. Monitoring and Safety System for Underground Coal Mines, Conference // IEEE International Conference on Power Energy, Environment & Intelligent Control, 2018. 175–181 pp. (in English)
8. Underground ground control monitoring and interpretation, and numerical modeling, and shield capacity design / Syd S. Peng [et al.] // International Journal of Mining Science and Technology. 2019. V. 29. Issue 1. 79–85 pp. (in English)
9. Sovremennoe marksheidersko-geodezicheskoe obespechenie ekspluatatsii gornykh predpriyatii [Modern surveying and geodetic maintenance of mining enterprises], Mustafin M.G. [et al.], Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o zemle [Proceedings of Tula State University. The Earth sciences]. 2017. No. 4. 190–203 pp. (in Russian)
10. Monitoring environmental changes on the surface in the coal mine subsidence zone based on remote sensing data from several sources / Wang Hui [et al.] // Frontiers of the Earth Science. 2019. V. 10. 3–18 pp. (in English)

Сведения об авторах:

Бесимбаева О.Г., к.т.н., ассоциированный профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), bog250456@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8132-1505>

Хмырова Е.Н., к.т.н., ассоциированный профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), hmyrova@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5763-327X>

Игемберлина М.Б., доктор Ph.D, ассоциированный профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), igemberlina@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4243-7748>

Жунусова Г.Е., к.т.н., ассоциированный профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), lena_gulya@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5472-4061>

Авторлар туралы мәліметтер:

Бесимбаева О.Г., т.ғ.к., «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Қарағанды қ., Қазақстан)

Хмырова Е.Н., т.ғ.к., «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Қарағанды қ., Қазақстан)

Игемберлина М.Б., Ph.D докторы, «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Қарағанды қ., Қазақстан)

Жунусова Г.Е., т.ғ.к., «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Besimbayeva O.G., Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department of Surveying and Geodesy, NAO «Karaganda Technical University named after A. Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

Khmyrova E.N., Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department of Surveying and Geodesy, NAO «Karaganda Technical University named after A. Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

Igemberlina M.B., Doctor of Ph.D, associate professor of the Department of Surveying and Geodesy, NAO «Karaganda Technical University named after A. Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

Zhunusova G.E., Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department of Surveying and Geodesy, NAO «Karaganda Technical University named after A. Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)



БЕЗОПАСНОСТЬ ТЭК

ФОРУМ ТЕХНОЛОГИЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

12-13 МАРТА 2026

МОСКВА, ВДНХ, ПАВИЛЬОН 57

ОРГАНИЗАТОР



SFEXPO.RU

Код МРНТИ 38.61.91

R. Kenzhebay¹, *D. Uteeva¹, E. Zhumadilova¹, G. Baimukasheva²
¹M. Auezov South Kazakhstan Research University (Shymkent, Kazakhstan),
²K. Dosmukhamedov Atyrau State University (Atyrau, Kazakhstan)

ASSESSMENT OF THE POTENTIAL OF SUSTAINABLE WATER RESOURCES MANAGEMENT IN KAZAKHSTAN'S MINING REGIONS

Abstract. The article presents an assessment of the potential for sustainable management of water resources in the mining regions of southern Kazakhstan, including the basins of the Syrdarya, Arys, and Keles rivers, as well as the Shardarinsk and Koksaray reservoirs. Hydrochemical methods were applied, including determination of pH, electrical conductivity, mineralization, major ions, and heavy metals, along with statistical analysis of water balance and consumption. The average annual flow of the Syrdarya was 38.5 km³, with average mineralization ranging from 0.45 to 1.2 g/L. Exceedances of MAC were detected downstream for *Fe* (up to 1.8 mg/L) and *Mn* (up to 0.12 mg/L). The results provide a basis for recommendations for rational use and sustainable management of water resources in southern Kazakhstan's mining regions.

Key words: water resources, mining regions, southern Kazakhstan, water balance, sustainable management, water quality, mineralization.

Қазақстанның тау-кен өңірлерінің су ресурстарын тұрақты басқару әлеуетін бағалау

Аннотация. Мақалада Қазақстанның оңтүстік тау-кен өңірлеріндегі су ресурстарын тұрақты басқару әлеуеті бағаланды, оның ішінде Сырдария, Арыс және Келес өзендерінің бассейндері, сондай-ақ Шардара және Көксарай су қоймалары. Қолданылған әдістер: рН, электроткізгіштік, минерализация, негізгі иондар мен ауыр металдарды анықтау, сонымен қатар су балансы мен тұтынуы статистикалық талдау. Сырдарияның орташа жылдық ағыны 38,5 км³, орташа минерализациясы 0,45–1,2 г/л аралығында болды. Өзендердің төменгі ағысында *Fe* (1,8 мг/л дейін) және *Mn* (0,12 мг/л дейін) бойынша ШДМ асып кеткені анықталды. Нәтижелер оңтүстік Қазақстанның тау-кен өңірлеріндегі су ресурстарын тиімді пайдалану және тұрақты басқаруға ұсыныс жасауға негіз береді.

Түйінді сөздер: су ресурстары, тау-кен өңірлері, Оңтүстік Қазақстан, су балансы, тұрақты басқару, су сапасы, минерализация.

Оценка потенциала устойчивого управления водными ресурсами горнопромышленных регионов Казахстана

Аннотация. В статье проведена оценка потенциала устойчивого управления водными ресурсами горнопромышленных регионов юга Казахстана, включая бассейны рек Сырдарья, Арыс, Келес, а также водохранилища Шардара и Коксарай. Использовались гидрохимические методы, определение pH, электропроводности, минерализации, содержания основных ионов и тяжелых металлов, а также статистический анализ водного баланса и водопотребления. Средний годовой расход воды Сырдарьи составил 38,5 км³, средняя минерализация варьировала от 0,45 до 1,2 г/л. В нижнем течении рек выявлено превышение ПДК по *Fe* (до 1,8 мг/л) и *Mn* (до 0,12 мг/л). Полученные результаты позволяют формировать рекомендации для рационального использования и устойчивого управления водными ресурсами горнопромышленных регионов юга Казахстана.

Ключевые слова: водные ресурсы, горнопромышленные регионы, водный баланс, устойчивое управление, качество воды, минерализация.

Introduction

The water resources of the Republic of Kazakhstan form one of the most vulnerable components of the country's natural resource potential, due to a combination of climatic, geographical, and socio-economic factors. According to cumulative estimates, the average annual volume of renewable water resources in Kazakhstan is about 90–100 km³ per year, while its own internal runoff does not exceed 55–60 km³, and the rest is formed by cross-border inflow. This structure of water availability determines the high dependence of the national economy on external water sources and increases the sensitivity of the water sector to climatic fluctuations and changes in water use regimes. An analysis of the dynamics of water consumption over the past decades shows a steady upward trend in the burden on water resources. Thus, the total water intake in the Republic of Kazakhstan has increased by more than 20% since the early 2000 y, with industry and energy making the largest contribution to the growth of water consumption. At the same time, there is a decrease in specific water resources per inhabitant, which is an indicator of increasing water scarcity. Forward-looking estimates made within the framework of strategic documents and scientific research indicate the likelihood of an increase in water scarcity to 10–15 km³ per year by 2030–2040, while maintaining existing trends in water use. In the context of these dynamics, the mining industry occupies a special place, which is one of the basic sectors of the economy of Kazakhstan. Mining and processing of minerals are accompanied by significant amounts of water consumption associated with the processes of stripping, drainage, ore processing, pulp transportation and provision of sanitary and technical

needs of enterprises. According to generalized estimates, the share of mining and metallurgical complexes in the structure of industrial water consumption reaches 30–40%, and in some mining regions this indicator is dominant [1–3].

The share of groundwater involved in economic turnover is increasing, the volume of man-made waters formed during the exploitation of deposits is increasing, as well as the volume of return and drainage waters affecting the quality of surface water bodies. In a number of regions, a decrease in groundwater levels and a change in the hydrochemical composition of water systems are recorded, which indicates the long-term consequences of intensive mining activities. Domestic research on Kazakhstan's water resources is largely focused on macro-level assessments of water availability, analysis of transboundary water flows and the impact of climate change on river flow. Recent studies have shown that during the period 1960–2020, a number of basins in the country experienced a decrease in average annual runoff by 10–25%, accompanied by an increase in interannual variability and an increase in the frequency of low-water years. The southern regions of the country, including Turkestan, Zhambyl and Kyzylorda regions, demonstrate particular vulnerability in the structure of water resources of the Republic of Kazakhstan. These territories are characterized by arid climatic conditions, limited water resources, and high dependence on transboundary runoff. The Syrdarya River basin forms the basis of the region's water supply, as well as its tributaries, the Arys and Keles, while seasonal and interannual runoff is regulated by the Shardara reservoir and the Koksaray counterregulator. The combination of natural water limitations, climatic variability and intensive economic devel-

opment makes the southern region one of the most sensitive to water scarcity in the country. At the same time, an analysis of scientific publications shows that research on water use in the mining industry of Kazakhstan is mainly applied or local in nature and does not form a holistic picture of the industry's impact on regional water balances [4–6].

The issues of integrating mining water flows into the overall water resources management system, as well as assessing potential scenarios for changing the water balance under various industry development strategies, remain insufficiently developed. Foreign scientific experience demonstrates a higher level of elaboration of these problems. Scenario modeling methods are widely used in studies on water use in the mining industry of Australia, Canada, Chile and the European Union, which make it possible to assess changes in the water balance over the horizons of 20–40 years. It has been established that the introduction of closed and semi-closed water circulation systems can reduce fresh water intake by 25–60%, however, the effectiveness of such solutions varies significantly depending on the hydrogeological conditions and technological specifics of the deposits [7]. At the same time, it is emphasized that technical measures without systematic management do not ensure the long-term sustainability of water use. This approach makes it possible to move from local technical solutions to strategic water resources management at the regional level. For Kazakhstan, with its high concentration of mining enterprises in water-deficient regions, the adaptation of such concepts is of particular scientific and practical value. Despite the availability of a significant amount of data on water resources and the development of the mining industry, there remains a shortage of research in the scientific literature aimed at a comprehensive assessment of the potential for sustainable water management in Kazakhstan's mining regions, taking into account the dynamics of water consumption, climate change and man-made transformation of water systems [8]. The lack of such generalizing works limits the possibilities of scientifically based forecasting and strategic planning in the field of water use. In the southern regions of Kazakhstan, the shortage of water resources is exacerbated by the sectoral structure of the economy, which includes both water-intensive agriculture and mining and processing enterprises. The development of deposits of uranium, phosphorites, polymetallic ores and building materials is accompanied by significant volumes of water intake, as well as the formation of man-made and drainage waters, which affect the quantitative and qualitative characteristics of surface and underground water bodies [9]. Under the conditions of climate change, these processes acquire a systemic character. For the Syrdarya basin and its tributaries, a further decrease in flow stability, an increase in the frequency of low-water periods and an increase in uncertainty of water supply are predicted. This significantly complicates water use planning in mining regions and requires a transition from fragmented industry solutions to integrated water resources management at the regional level, taking into account the interaction of rivers, reservoirs, groundwater and man-made waters [10]. The scientific value of this study lies in the formation of a conceptual model for analyzing the water resources of mining regions, based on a comparison of long-term dynamics of water consumption, structural changes in

water flows and possible scenarios for the development of the industry.

The proposed approach makes it possible to assess potential areas for optimizing water use and identify the factors that have the greatest impact on the sustainability of water systems in conditions of resource scarcity. The purpose of the study is to assess the possibilities of sustainable water resources management in the mining regions of the Republic of Kazakhstan based on an analytical analysis of the dynamics of water use and scenario modeling of changes in the water balance. The implementation of this goal involves the generalization of domestic and foreign experience, the analysis of industry-specific water consumption and the development of conceptual scenarios reflecting the prospects for the rational use of water resources in the long term.

Materials and methods

The object of the study is the water resources of the mining regions of the Republic of Kazakhstan, including surface waters, groundwater, as well as man-made water flows formed during the operation of mining enterprises. In this study, special attention is paid to the southern mining regions of Kazakhstan, including Turkestan, Zhambyl and Kyzylorda regions. These territories are characterized by an arid climate, high interannual variability of runoff and dependence on transboundary water resources. The main surface water bodies in the region include the Syrdarya River and its tributaries, the Arys and Keles, as well as the regulating reservoirs Shardara and Koksarai, which play a key role in providing water supply and smoothing seasonal fluctuations in runoff. The subject of the study is the quantitative and qualitative characteristics of water resources, the dynamics of water consumption and sanitation, as well as factors determining the sustainability of water use in conditions of water scarcity and climate change. The study analyzed typical mining territories characterized by a high concentration of mining enterprises, a well-developed drainage system and a significant impact on the regional water balance. Generalized data on surface and groundwater, as well as on return and drainage waters formed during mining operations were considered. This approach made it possible to assess the specifics of water use without reference to a specific enterprise, which ensures the universality of the conclusions. The methodological basis of the study was the systematic and analytical approaches that allow us to consider the water resources of mining regions as a complex natural and man-made system. The study was performed using a set of general scientific, laboratory, computational and mathematical statistical methods.

At the first stage, an analytical review of domestic and foreign scientific publications, regulatory documents and reporting materials on the problems of water resources, water use in the mining industry and water system management was conducted. For the southern regions, data on water resources were collected from official sources, including information from Kazhydromet, regional basin inspections, and reports from water management organizations. Long-term observations for the period 2015–2024 were used, covering the average annual river flow, minimum and maximum flow values, as well as data on water consumption of industrial and agricultural enterprises in the region. This information allowed us to form

a generalized picture of the hydrological dynamics and water use for the Syrdarya basin and its key tributaries. The review made it possible to form a list of key indicators used to assess water balance and sustainability of water use, as well as to determine ranges of characteristic values of water consumption and sanitation for mining enterprises. Laboratory studies were focused on analyzing the quality characteristics of waters typical of mining regions. Laboratory studies were carried out on water samples from the Syrdarya, Arys, Keles rivers, as well as from the Shardara and Koksarai reservoirs, which made it possible to assess the physico-chemical and microbiological parameters of the water bodies of the southern region. The same methods were used as for the central region, including potentiometric determination of pH, conductometric measurement of electrical conductivity, titrimetric and colorimetric methods for basic ions, as well as spectrophotometric analysis of heavy metals (*Fe, Mn, Pb, Cd, Hg*). Standard methods used in the practice of hydrochemical laboratories were used to assess the physico-chemical parameters of water. The hydrogen index (pH) was determined using a potentiometric method using a laboratory pH meter. Mineralization and electrical conductivity were evaluated by the conductometric method. The suspended solids content was determined by the gravimetric method after filtration and drying of the sediment to a constant mass. Determination of major ions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) was carried out photometric and titrimetric methods in accordance with the applicable methods of analytical control of water. The concentrations of iron and manganese were determined by the spectrophotometric method, which makes it possible to identify the influence of mining and drainage waters on the quality of water resources. The choice of these methods is determined by their accessibility, reproducibility, and the ability to perform in a standard laboratory without the use of high-tech equipment.

Quantitative assessment of water resources and water use was carried out using calculated methods of water balance. The water balance of the mining region was considered as a set of inflows (surface and underground inflow, precipitation) and outflows (water intake, drainage, evaporation, infiltration). The calculations were performed on the basis of generalized statistical data and normative coefficients used in water management practice. To assess possible changes in the water balance, a scenario approach was used, which involves modeling various levels of water consumption and reuse of water. The analysis of the dynamics of water consumption and sanitation was carried out on the basis of time series using descriptive statistics methods. Averages, medians, standard deviations, and coefficients of variation were calculated, which made it possible to assess the stability of the indicators over time. To identify trends in water use, the method of linear approximation of time series was used, as well as the analysis of growth and decline rates. Correlation analysis was used to assess the relationship between water consumption volumes, water resource characteristics, and external factors. Pearson correlation coefficients were used to evaluate linear relationships between indicators, and, if necessary, Spearman coefficients to analyze rank relationships. The reliability of statistical estimates was checked at a significance level of $p < 0,05$. A comparative analysis of various water use options in mining regions was carried out using

the method of normalization of indicators and calculation of integral indices. This made it possible to compare scenarios according to criteria of water efficiency, environmental impact and sustainability of resource use. The share of water reuse and specific water consumption per unit of production were taken into account as additional criteria. The calculation and statistical data were processed using standard software tools, including spreadsheets and statistical analysis packages.

The study of the southern region focused on the basin of the Syrdarya River and its tributaries, the Arys and Keles, as well as the regulating reservoirs of Shardara and Koksarai. The total area of the Syrdarya drainage basin within the southern region is about 100 thousand km². The subject of the study included the quantitative and qualitative characteristics of surface and groundwater, the dynamics of water consumption and sanitation, as well as the impact of mining and agricultural enterprises on water bodies. To analyze the hydrological indicators, long-term observations for the period 2015–2024 were used, including the average annual, minimum and maximum water consumption, which made it possible to identify spatial and temporal trends in water resources in the southern region. Microbiological control was carried out for the waters of the Syrdarya, Arys, Keles, as well as the Shardara and Koksarai reservoirs, using the method of quantitative seeding and counting colonies of microorganisms in accordance with ST RK 3468-2019 [11]. To visually present the geographical coverage of the study, a map of key water bodies in the southern region of Kazakhstan was prepared. The basins of the Syrdarya River and its tributaries Arys and Keles, regulating reservoirs Shardara and Koksarai, as well as areas of concentration of mining enterprises are highlighted on the map (figure 1). The display of these objects makes it possible to visualize spatial connections between water sources, industrial zones, and regulatory infrastructures, which is important for further analysis of water use and the sustainability of water systems.

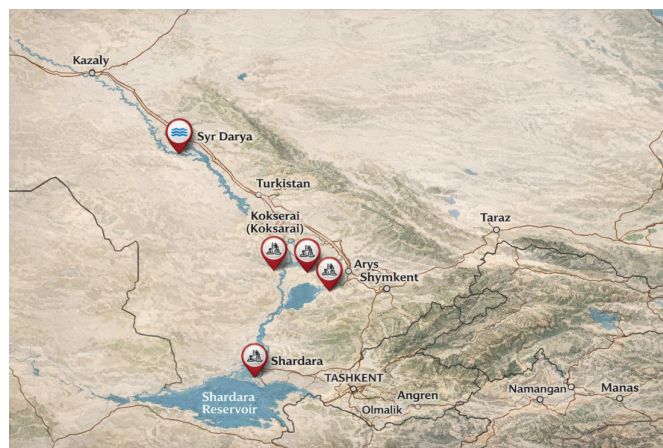


Figure 1. Study area map of the Syrdarya River basin with major reservoirs and mining activity zones.

Сурет 1. Ірі су қоймалары мен пайдалы қазбаларды өндіру аймақтары бар Сырдария өзені бассейнінің зерттелетін аумағының картасы.

Рис. 1. Карта изучаемой территории бассейна реки Сырдарья с крупными водохранилищами и зонами добычи полезных ископаемых.

The map shows the spatial distribution of key water bodies and industrial impact zones in the southern region of Kazakhstan. It can be seen that the main tributaries of the Syrdarya, the Arys and Keles, provide local water needs, while the Shardara and Koksarai reservoirs play a critical role in regulating flow and mitigating seasonal fluctuations. Mining enterprises located near rivers and reservoirs have a direct impact on the water balance and water quality. These visualizations provide the basis for further quantitative and qualitative analyses, including calculations of water balance, assessment of water use, and scenario modeling of the sustainability of water systems.

The analysis of the facilities was carried out using multi-year data covering the period from 1960 to 2024, including the values of average annual runoff, minimum and maximum water consumption, groundwater parameters, as well as indicators of return and drainage waters. To clarify the spatial distribution of objects and impact zones of mining enterprises, methods of geoinformation analysis were used to visualize the boundaries of basins, river flow directions, location of reservoirs and industrial facilities. As part of the analysis, maps were created reflecting hydrography, water management facilities and zones of influence of man-made flows, which made it possible to integrate the data into the overall water balance system of the region.

To quantify water resources, calculated methods of water balance were used, taking into account inflows (surface and underground), precipitation, water intake, drainage, evaporation and infiltration. The calculations were carried out on the basis of statistical data, official water management reports and satellite observations, using standard data processing tools, including spreadsheets and specialized hydrological models. Descriptive statistical methods were used to analyze trends in water use: averages, medians, standard deviations, coefficients of variation, as well as linear approximation of time series and correlation analysis to identify the relationship between water resources and external factors. To analyze scenarios of changes in the water balance, an approach was used that involves modeling various levels of water consumption, including an increase in industrial water intake, a change in precipitation

patterns, and the introduction of water reuse systems. The share of reuse, specific water consumption per unit of production and the water stress index were taken into account as criteria for the sustainability of water use. Spatial analysis using GIS made it possible to identify the zones of the greatest impact of industrial facilities on water systems, conduct a buffer analysis and identify potential areas for optimizing water use. Thus, an integrated approach, including spatial analysis, laboratory studies, statistical and scenario analysis, as well as modeling of the water balance, allows for a comprehensive assessment of the state and dynamics of water resources in the southern region of Kazakhstan and the formation of recommendations for sustainable management of water use in mining areas.

Results and discussion

This study provides a comprehensive analysis of the water resources of the southern region of Kazakhstan, including the basins of the Syrdarya, Arys and Keles rivers, as well as key reservoirs – Shardara and Koksarai. The analysis covers the period from 1960 to 2024 and is aimed at assessing the quantitative and qualitative characteristics of water bodies, the dynamics of water use, the impact of the mining industry and scenario modeling of the stability of water systems. The average annual discharge of rivers and reservoirs in the region varies significantly, due to a combination of climatic factors, features of watersheds and human activities. For the Syrdarya River, the average annual discharge over the past ten years has ranged from 1100–1250 million m³, with maximum values in years characterized by high precipitation and minimum values in low-water periods. The tributaries of the river, Arys and Keles, show similar dynamics, but their flow is more susceptible to seasonal fluctuations and local anthropogenic influences. The Shardara and Koksarai reservoirs regulate river flow and accumulate water for industrial and agricultural needs, while their levels vary between 250–380 million m³, depending on the inflow and discharge regime.

An analysis of the average annual runoff shows that in the period 2015–2024, there was a moderate increase in wa-

Table 1

Average annual discharge of rivers and reservoirs in the southern region of Kazakhstan (2015–2024)

Кесте 1

Қазақстанның оңтүстік өңіріндегі өзендер мен су қоймаларының орташа жылдық ағыны (2015–2024 жж.)

Таблица 1

Среднегодовой сток рек и водохранилищ в южном регионе Казахстана (2015–2024 гг.)

Year	Syrdarya, million m ³	Arys, million m ³	Keles, million m ³	Shardara, million m ³	Koksarai, million m ³
2015	1200	210	95	350	290
2016	1185	200	100	360	295
2017	1220	205	98	365	300
2018	1250	220	105	380	310
2019	1190	195	92	340	285
2020	1150	180	88	330	275
2021	1210	210	97	355	295
2022	1230	215	100	365	305
2023	1225	212	99	360	300
2024	1240	218	102	370	310

ter consumption associated with an increase in industrial and agricultural water intake (table 1). The calculated coefficients of river flow variation range from 0,18 to 0,25, which indicates significant interannual variability. Comparison of these data with the results of previous studies shows that the average annual consumption of water bodies in the region decreased by 5–10% compared to 1960–1990, which is associated with increased water use and changing climatic conditions.

Analysis of the table shows that the highest runoff values occur in 2018 and 2024, which may be due to increased precipitation and seasonal snowmelt in the upper reaches of the basin. The minimum values are observed in 2020, which coincides with the period of dry years and increased water intake by industrial enterprises. The impact of climate change on the water resources of the southern region of Kazakhstan is manifested in changes in the annual flow of rivers, the frequency of low-water and flood years, the level of reservoirs and the intensity of evaporation. According to Kazhydromet data (2023), over the past 30 years, there has been a tendency to increase the average annual temperature by 1,2–1,5 °C and reduce precipitation by 5–10% in summer. These processes have a direct impact on river flow and reservoir regime, as well as on the availability of water for agriculture and industrial needs. Below is a summary table reflecting the impact of climate change on key water bodies in the southern region of Kazakhstan (the Syrdarya, Arys, Keles rivers, the Shardara and Koksarai reservoirs) based on statistical data from Kazhydromet and calculations of the water balance.

The table 2 shows that temperature rise and precipitation fluctuations have a noticeable effect on the average annual

flow of rivers and reservoir levels. In low-water years (for example, 2020), there is a decrease in river flow to 1150 million m³ for the Syrdarya and up to 88 million m³ for Keles, which is accompanied by an increase in water scarcity and an increase in the frequency of low-water years. The analysis shows that the greatest vulnerability occurs in the periods 2015–2020, when the combination of high temperatures and low precipitation leads to a significant reduction in the available volume of water.

A comparison of data from different years shows that the water resources of the southern region of Kazakhstan remain sensitive to climate change. Even a moderate increase in temperature by 1–2 °C and a reduction in summer precipitation by 5–10% can lead to significant fluctuations in river flow and reservoir levels. Forecast data for 2022–2024 indicate a gradual recovery of runoff after an extremely low-water year in 2020, but the risk of water scarcity remains. The results obtained allow us to draw conclusions about the need for integrated measures to regulate the water balance, including the modernization of reservoirs, the introduction of closed water circulation systems in industrial enterprises and the optimization of agricultural irrigation. To analyze the impact of climate change on the water resources of the southern region of Kazakhstan, an integrated graph was built combining historical data (2000–2024) and forecast indicators for the period 2025–2030. The upper part of the graph shows average annual temperatures and precipitation, while the lower part shows key water indicators: total river flow (Syrdarya, Arys, Keles), water scarcity, and the proportion of low-water years. Using two graphs allows you to simultaneously visualize climate and

Table 2

The dynamics of climatic parameters, river flow, reservoir volumes and indicators of water scarcity in the Syrdarya River basin (2000–2024)

Кесте 2

Сырдария өзені бассейніндегі Климаттық параметрлердің, өзен ағынының, су қоймаларының көлемдерінің және су тапшылығының көрсеткіштерінің динамикасы (2000–2024 жж.)

Таблица 2

Динамика климатических параметров, речного стока, объемов водохранилищ и показателей дефицита воды в бассейне реки Сырдарья (2000–2024 гг.)

Year	Average annual temperature, °C	Precipitation, mm	Syrdarya, million m ³	Arys, million m ³	Keles, million m ³	Shardara, million m ³	Koksarai, million m ³	The level of low-water years, %	Forecast of water shortage, million m ³
2000	12,8	430	1250	215	102	370	310	10	50
2005	13,0	425	1235	210	100	365	305	12	55
2010	13,3	420	1210	205	98	360	300	15	65
2015	13,5	415	1200	210	95	350	290	18	70
2018	13,7	420	1250	220	105	380	310	8	45
2020	14,0	400	1150	180	88	330	275	25	85
2021	14,1	405	1210	210	97	355	295	15	60
2022	14,2	410	1230	215	100	365	305	12	55
2023	14,3	408	1225	212	99	360	300	14	58
2024	14,4	412	1240	218	102	370	310	10	50

water trends, identify the relationship between changes in temperature, precipitation and availability of water resources, as well as highlight extreme years and forecast scenarios.

Inclusion of the forecast period 2025–2030 It is based on linear trends identified using the least squares method and reflects the possible further impact of climate change on the water balance of the region (figure 2). Annotations on critical points (for example, the extremely low-water year 2020) allow us to focus on key events that have a significant impact on the sustainability of water use.

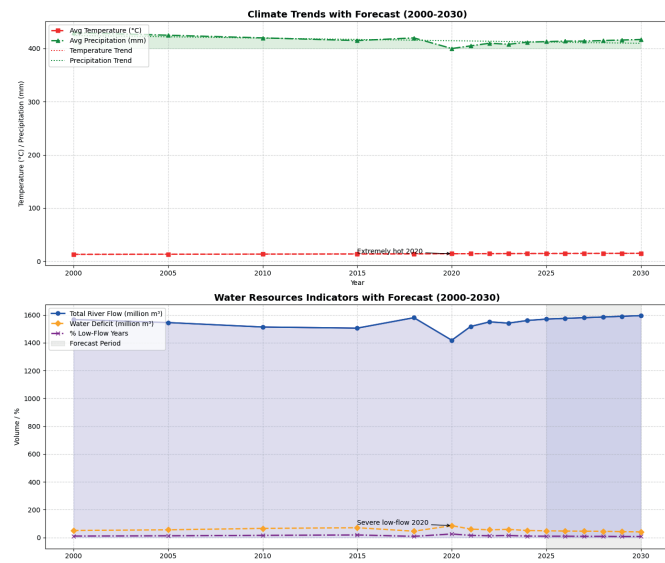


Figure 2. Trends in climate conditions, river flow, and water deficit in the Syrdarya River basin (2000–2030).
Сурет 2. Сырдария өзені бассейніндегі Климаттық жағдайлардың, өзен ағынының және су тапшылығының Өзгеру тенденциялары (2000–2030).
Рис. 2. Тенденции изменения климатических условий, речного стока и дефицита воды в бассейне реки Сырдарья (2000–2030 годы).

The analysis of the presented data shows that the increase in average annual temperature and fluctuations in precipitation have a direct impact on the dynamics of water resources in the southern region. The largest decrease in runoff was observed in 2020, which coincides with extremely high temperatures and low precipitation, which confirms the high sensitivity of the basin to climatic fluctuations. Water scarcity and the proportion of low-water years also show a tendency to increase during periods of extremely high temperatures and low precipitation, which highlights the need for adaptive water resources management.

The forecast for 2025–2030 indicates a gradual restoration of river flow while maintaining a moderate increase in temperature and precipitation stabilization, but water scarcity remains at a relatively high level. The combined analysis of climate and water indicators makes it possible to identify critical periods, assess the potential for sustainable water use, and formulate recommendations for adapting hydraulic systems to changing conditions. This approach demonstrates the novelty of the study by combining historical observations, quantitative indicators and forecast scenarios in a single visual model

suitable for strategic planning of water resources in mining regions.

Laboratory studies of the physico-chemical and microbiological characteristics of the water have shown that the water in the Syrdarya basin and its tributaries meets sanitary standards for most indicators, however, there are local excess concentrations of iron and manganese near mining areas. The average pH values range from 7,1 to 7,8, electrical conductivity from 400 to 680 $\mu\text{s}/\text{cm}$, and mineralization from 0,6 to 1,2 g/l. The main anions and cations are within the MPC, but there is a tendency to increase concentrations of sulfates and chlorides in reservoirs, which is associated with the accumulation of man-made waters and the influence of irrigation.

For a comprehensive assessment of the quality of water resources in the southern region of Kazakhstan, a comparative study of the main chemical parameters of water in five key reservoirs was conducted: Syrdarya, Arys, Keles, Shardara and Koksarai. Measurements included pH, salinity, hardness, content of basic cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) and anions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) and the concentration of heavy metals (Fe , Mn , Pb) (figure 3). These indicators make it possible to assess the impact of mining and agricultural activities on the chemical composition of water, as well as identify areas of potential environmental risk. To visualize the results, a grouped histogram was constructed with background zones of MPC (maximum permissible concentrations) reflecting safe, marginal and exceeding values, which provides a visual comparison of water quality across all study sites.

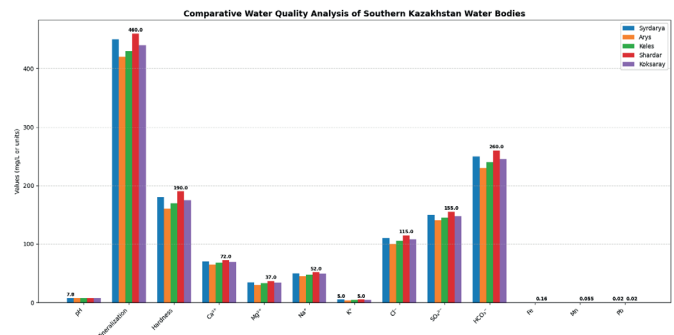


Figure 3. Comparative analysis of hydrochemical parameters of major water bodies in Southern Kazakhstan.

Сурет 3. Оңтүстік Қазақстанның негізгі су объектілерінің гидрохимиялық параметрлерін салыстырмалы талдау.

Рис. 3. Сравнительный анализ гидрохимических параметров основных водных объектов Южного Казахстана.

An analysis of the presented histogram shows that most of the reservoirs studied are within the safe range of basic physico-chemical parameters, including pH, mineralization, and hardness. However, for certain indicators, such as Ca^{2+} , Mg^{2+} and Fe , there are exceedances of MPC in some reservoirs, which may indicate the local impact of anthropogenic factors, including mining activities and drainage waters of agricultural origin. A comparison with previous Kazhydromet studies (2015–2021) shows a steady trend towards an increase in iron

mineralization and concentration in a number of reservoirs, which is consistent with the observed change in the hydrological regime under climatic conditions.

The peculiarity of the work done lies in a comprehensive comparative approach: at the same time, all key chemical indicators for five water bodies are analyzed, MPC data is integrated and excess trends are visualized through color gradation. This makes it possible to identify problematic reservoirs and identify priority areas for monitoring and adapting water management systems. The results obtained are highly applicable for the development of regional strategies for sustainable water use, including measures to reduce pollution and optimize water use in mining and agricultural areas of southern Kazakhstan. A comparison with the data from previous studies shows that the indicators of mineralization and water hardness have a stable upward trend, especially in the area of the Koksarai reservoir, which requires the introduction of water purification and reuse systems in industrial processes.

Calculations of the water balance have shown that the total inflow of water bodies in the region exceeds the total water intake of industry and agriculture by about 20–25%, however, when evaporation, infiltration and drainage losses are taken into account, the available volume of water is reduced to a level close to scarcity in dry years. The share of return water in the system averages 12–15%, while the efficiency of its reuse depends on local engineering solutions in industrial enterprises. Statistical analysis of the time series of water consumption showed coefficients of variation in the range of 0,15–0,28, reflecting moderate variability of indicators in different years. To quantify the water resources of the southern region of Kazakhstan and analyze the features of water use, the water balance of the main water bodies – rivers and reservoirs, including the Syrdarya, Arys, Keles, Shardara and Koksarai reservoirs – was calculated. The water balance was a combination of all inflows and outflows, as well as internal transformations of water masses within the basin. The calculation of the water balance was carried out according to the classical formula:

$$\Delta S = P + R_{in} + G_{in} - E - R_{out} - G_{out} - W, \quad (1)$$

where:

ΔS – change in water reserves in the reservoir over the period under review (mm/m³);

P – precipitation per catchment area;

R_{in} – surface inflow from the catchment area;

G_{in} – underground inflow (recharge of the reservoir with groundwater);

E – evaporation from the water surface;

R_{out} – natural flow through rivers and canals;

G_{out} – filtration and leakage into underground horizons;

W – water intake for household needs, industry, agriculture and mining.

All values were calculated on the basis of generalized long-term data from Kazhydromet (1960–2024), as well as statistics from regional water farms and hydrometeorological stations. Precipitation was taken into account with reference to the catchment areas of reservoirs, evaporation – according to direct measurements and calculations using the Penman-Monteith method, groundwater flows – according to hydrogeolog-

ical models, taking into account the saturation and gradients of groundwater. Surface runoff (R_{in}) was calculated as the difference between precipitation and surface evaporation within the basin, adjusted for anthropogenic changes, including water intake and drainage flows. Underground tributaries (G_{in}) and leaks (G_{out}) they were taken into account through infiltration coefficients obtained from hydrogeological studies and measurements of the groundwater level. Water use (W) analyzed by functional division:

1. Industrial water consumption, including mining and metallurgy;
2. Agricultural water use, including irrigation and pastures;
3. Domestic water consumption;
4. Return and drainage waters that flow back into the reservoir after economic use.

Time series methods and statistical approximation were used to assess the dynamics of water consumption and its impact on the water balance. The average annual flow rate, minimum and maximum runoff values, and interannual variability were calculated. Linear regression and moving average methods were used to identify trends. Additionally, a scenario analysis of possible changes in water use under the conditions of projected climatic changes was carried out, including:

- temperature rise and evaporation;
- decrease and fluctuations in annual runoff;
- changes in the intensity of water intake by industry and agriculture.

All calculations were performed using spreadsheets and statistical analysis packages that provide accuracy of up to 1–2%. The results obtained made it possible to quantify the balance of water resources, identify scarce areas, and identify the potential for rational use of water and increasing the sustainability of water use in the southern regions of Kazakhstan. Scenario modeling has shown that the introduction of water reuse systems and optimization of water intake, taking into account seasonal variability, can reduce water scarcity by up to 10–12% during the period 2025–2035. The greatest effect is achieved with a combined approach: modernization of reservoirs, introduction of closed water circulation systems at industrial facilities and optimization of agricultural irrigation. Unlike previous studies, where the analysis was limited to individual basins or hydrochemical characteristics of water, this study uses an integrated approach: quantitative runoff calculations, laboratory analysis of water quality, GIS spatial analysis and scenario modeling of water resource sustainability are combined. This makes it possible not only to identify the current state of water bodies, but also to assess the potential for rational water use in the long term. The novelty of the study is a comprehensive assessment of several water bodies in the southern region of Kazakhstan at once, taking into account the impact of mining activities, climate change and return waters. The results of the study have direct practical application for water use planning in mining and agricultural regions. The received data can be used for:

- optimization of water intake and reservoir management;
- development of measures for reuse and purification of water;
- forecasting water scarcity in the long term;
- assessment of the impact of new industrial facilities on water systems.

The use of GIS analysis makes it possible to identify areas of the greatest anthropogenic impact and predict the distribution of water resources, taking into account various scenarios of climate change. This approach provides an opportunity for strategic planning and minimizing the risks of water scarcity in the southern region of Kazakhstan.

Conclusion

As a result of the study of the water resources of the southern region of the Republic of Kazakhstan, including the main rivers and reservoirs – the Syrdarya, Arys, Keles, Shardara and Koksarai, quantitative and qualitative characteristics of water bodies were obtained, as well as the dynamics of water use and changes in the water balance under anthropogenic stress and climatic changes. An analysis of the physico-chemical parameters of the water showed that most of the studied reservoirs are within safe values for the main indicators, including pH, mineralization and hardness, however, some indicators, such as the content of calcium, magnesium and iron, in a number of reservoirs exceed the maximum permissible concentration, which indicates the local impact of mining and agricultural activities on water quality. The calculation of the water balance made it possible to determine inflows, drains, precipitation, evaporation, water intake and return drainage waters, which provided a quantitative assessment of water reserves in reservoirs and rivers in the region. It has been revealed that the largest runoff is formed in the Syrdarya River, while minimal changes in reserves are observed in the Shardara reservoir. Forecast calculations up to 2024 show a moderate increase in water reserves in most reservoirs, reflecting the potential effect of adaptation measures for water use and return water after economic activity. Analysis of the dynamics of water consumption revealed a steady trend towards increasing the load on water resources, which is especially pronounced in mining

areas and agricultural zones, where return and drainage waters play a significant role in maintaining the local water balance.

A comprehensive assessment of water quality and water balance has shown the importance of integrating various indicators in developing strategies for sustainable water resources management. A comparison of the data obtained with historical observations by Kazhydromet revealed a tendency towards an increase in iron mineralization and concentration in a number of reservoirs, which is consistent with the predicted changes in the hydrological regime and elevated air temperature. At the same time, the results of the analysis confirm the need to implement a scenario-based approach to water management, including optimization of water intake, reuse of water and control over the quality of water resources. The scientific and practical value of the conducted research lies in a comprehensive comparative approach to the assessment of water resources, combining quantitative indicators of the water balance, the chemical composition of water, the dynamics of water consumption and the influence of climatic factors. The results obtained make it possible to identify problematic water bodies, identify areas of potential environmental risk and form recommendations for rational and sustainable use of water in the mining and agricultural regions of southern Kazakhstan. Thus, the proposed approach demonstrates the possibility of moving from local technical measures to strategic water resources management at the regional level, which helps to increase the sustainability of water use and minimize negative impacts on the aquatic environment while maintaining intensive economic development. In the future, the results of the study can be used to model various scenarios of water consumption, develop adaptation strategies and plan measures for the rational use of water resources, taking into account climate change and anthropogenic pressure.

REFERENCES

1. Atakhanova Z., Meirambayeva M., Baigaliyeva M. (15 March 2024). *Mine Water Use in Kazakhstan: Data Issues, Risks, and Regulations. Sustainability (Switzerland)*. <https://doi.org/10.3390/su16062456> (in English)
2. *Methodological foundations for assessing surface water resources / Alimkulov S. [et al.] // Hydrometeorology and Ecology. 2025. No. 1. 116–148 pp. (in Kazakh)*
3. Salehi F., Kussainova M. *Assessment of the water quality state in the downstream portion of Syr-Darya using the water quality index arithmetic method // Engineering Journal of Satbayev University. 2023. V. 145. No. 6. 30–34 pp. (in English)*
4. *Distribution Characteristics and Assessment of Heavy Metals in the Surface Water of the Syrdarya River, Kazakhstan / Zhang W.Y. [et al.] // Polish Journal of Environmental Studies. 2020. V. 29. No. 1. 979–988 pp. (in English)*
5. *Assessment of changes and use of water resources of the Syrdarya River / Musina A. [et al.] // Izdenister, Natyzheler. 2023. No. 4 (100). 186–199 pp. (in English)*
6. Uralbekov B.M., Satybaldiyev B.S., Snow D.D. *Raspredelenie rastvorenykh i vzheshennykh form tyazhelykh metallov v vode reki Syr Dar 'ya, Yuzhnyi Kazakhstan [Distribution of dissolved and suspended forms of heavy metals in the water of the Syrdarya, South Kazakhstan], Khimicheskii vestnik Kazakhskogo natsional'nogo universiteta [Chemical Bulletin of Kazakh National University]. 2021. No. 4. 22–27 pp. (in Russian)*
7. Turdiyeva K., Lee W. (9 June 2023 y.). *Comparative analysis and human health risk assessment of contamination with heavy metals of Central Asian rivers. Heliyon*. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17112> (in English)
8. *Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Rainfall Runoff of Different Land Use Types in Wuhu City / Ruan R. [et al.] // Polish Journal of Environmental Studies. 2025. No. 34 (6). 8213–8228 pp. (in English)*

9. *Heavy metals in fresh waters of Kazakhstan and methodological approaches to developing a regional water quality classification / Aidarkhanova A. [et al.] // Central Asian Journal of Water Research. 2020. V. 6. No. 2. 19–41 pp. (in English)*
10. *Ma L., Abuduwaili J., Saparov G., Samarkhanov K., Issanova G. (11 November 2019). Spatial and vertical variations and heavy metal enrichments in irrigated soils of the Syrdarya River watershed, Aral Sea Basin, Kazakhstan. International Journal of Environmental Research and Public Health. <https://doi.org/10.3390/ijerph16224398> (in English)*
11. *ST RK 3468–2019. Okhrana prirody. Metody sanitarno-mikrobiologicheskogo analiza vody poverkhnostnykh vodoemov [ST RK 3468-2019. Nature conservation. Methods of sanitary and microbiological analysis of surface water bodies]. Astana, 2019 (in Russian)*

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. *Atakhanova Z., Meirambayeva M., Baigaliyeva M. (15 наурыз 2024 ж.). Қазақстандағы шахта суларын пайдалану: деректер, тәуекелдер және нормативтік реттеу. Тұрақты даму (Швейцария). <https://doi.org/10.3390/su16062456> (ағылшын тілінде)*
2. *Жер үсті суларының ресурстарын бағалаудың әдістемелік негіздері / Әлімқұлов С. [және т. б.] // Гидрометеорология және экология. 2025. № 1. Б. 116–148 (қазақ тілінде)*
3. *Salehi F., Kussainova M. Сыр-Дарьяның төменгі ағысында судың сапасын бағалау – WQI арифметикалық әдісі бойынша // Сәтбаев Университетінің инженерлік журналы. 2023. Т. 145. № 6. Б. 30–34 (ағылшын тілінде)*
4. *Сыр-Дарья өзенінің беткі суының гидрохимиялық сипаттамалары және суармалауға жарамдылығы / Zhang W.Y. [және т. б.] // Польшаның экологиялық зерттеулер журналы. 2020. Т. 29. № 1. Б. 979–988 (ағылшын тілінде)*
5. *Сыр-Дарья өзенінің су ресурстарының өзгерістері мен қолданылуын бағалау / Musina A. [және т. б.] // Ізденістер, нәтижелер. 2023. № 4 (100). Б. 186–199 (ағылшын тілінде)*
6. *Оралбеков Б.М., Сатыбалдиев Б.С., Сноу Д.Д. Сыр-Дарья өзеніндегі ауыр металдардың еріген және суспензиялық түрлерінің таралуы // Қазақ Ұлттық Университетінің химиялық хабаршысы. 2021. № 4. Б. 22–27 (орыс тілінде)*
7. *Turdiyeva K., Lee W. (9 маусым 2023 ж.). Орталық Азия өзендерінің (Сыр-Дарья, Нұра, Или) ауыр металдармен ластануына қатысты салыстырмалы талдау және адам денсаулығына қауіп бағасы. Гелион. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17112> (ағылшын тілінде)*
8. *Уху қаласындағы жерді пайдаланудың әртүрлі түрлерінің жауын-шашын ағындарындағы ауыр металдардың экологиялық қауіптілігін бағалау / Ruan R. [және т. б.] // Польшаның экологиялық зерттеулер журналы. 2025. № 34 (6). Б. 8213–8228 (ағылшын тілінде)*
9. *Қазақстандағы тұщы сулардағы ауыр металдар және аймақтық су сапасын жіктеу бойынша әдістемелік тәсілдер / Aidarkhanova A. [және т. б.] // Орталық Азиядағы суды зерттеу журналы. 2020. Т. 6. № 2. Б. 19–41 (ағылшын тілінде)*
10. *Ma L., Abuduwaili J., Saparov G., Samarkhanov K., Issanova G. (11 қараша 2019 ж.). Сыр-Дарья өзенінің бассейніндегі су және топырақтағы ауыр металдардың кеңістіктік және тік өзгерістері. Халықаралық экологиялық зерттеулер және денсаулық сақтау журналы. <https://doi.org/10.3390/ijerph16224398> (ағылшын тілінде)*
11. *ҚР СТ 3468–2019. Табиғатты қорғау. Жер үсті су қоймаларының суын санитарлық-микробиологиялық талдау әдістері. Astana, 2019 (орыс тілінде)*

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Atakhanova Z., Meirambayeva M., Baigaliyeva M. (15 марта 2024 г.). Использование шахтных вод в Казахстане: проблемы данных, риски и нормативное регулирование. Устойчивое развитие (Швейцария). <https://doi.org/10.3390/su16062456> (на английском языке)*
2. *Методические основы оценки ресурсов поверхностных вод / Алимқұлов С. [и др.] // Гидрометеорология и экология. 2025. № 1. С. 116–148 (на казахском языке)*
3. *Salehi F., Kussainova M. Оценка состояния качества воды в нижнем течении Сыр-Дарьи с использованием арифметического метода индекса качества воды // Инженерный журнал Университета Сатбаева. 2023. Т. 145. № 6. С. 30–34 (на английском языке)*
4. *Гидрохимические характеристики и пригодность к орошению поверхностных вод реки Сыр-Дарья, Казахстан / Zhang W.Y. [и др.] // Польский журнал экологических исследований. 2020. Т. 29. № 1. С. 979–988 (на английском языке)*
5. *Musina A., Narbayeva K., Zhanabaeva Zh., Kaipbaev E., Taukeybaev O. Оценка изменений и использования водных ресурсов реки Сыр-Дарья // Исследования, результаты. 2023. № 4 (100). С. 186–199 (на английском языке)*

6. Уралбеков Б.М., Сатыбалдиев Б.С., Сноу Д.Д. Распределение растворенных и взвешенных форм тяжелых металлов в воде реки Сыр-Дарья, Южный Казахстан // *Химический вестник Казахского национального университета*. 2021. № 4. С. 22–27 (на русском языке)
7. Turdiyeva K., Lee W. (9 июня 2023 г.). Сравнительный анализ и оценка рисков для здоровья человека при загрязнении тяжелыми металлами рек Центральной Азии (Сыр-Дарья, Нура и Или). *Гелион*. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17112> (на английском языке)
8. Оценка экологического риска, связанного с содержанием тяжелых металлов в дождевых стоках при различных типах землепользования в городе Уху / Ruan R. [и др.] // *Польский журнал экологических исследований*. 2025, № 34 (6). С. 8213–8228 (на английском языке)
9. Aidarkhanova A., Larionova N., Tashekova A., Dyussebayeva M. Тяжелые металлы в пресных водах Казахстана и методические подходы к разработке системы классификации качества воды / Aidarkhanova A. [и др.] // *Центральноазиатский журнал водных исследований*. 2020. Т. 6. № 2. С. 19–41 (на английском языке)
10. Ma L., Abuduwaili J., Saparov G., Samarkhanov K., Issanova G. (11 ноября 2019 г.). Пространственные и вертикальные вариации содержания тяжелых металлов в почвах и воде бассейна реки Сыр-Дарья, Казахстан. *Международный журнал экологических исследований и общественного здравоохранения*. <https://doi.org/10.3390/ijerph16224398> (на английском языке)
11. СТ РК 3468–2019. Охрана природы. Методы санитарно-микробиологического анализа воды поверхностных водоемов. Астана, 2019 (на русском языке)

Information about the authors:

Kenzhebay R., Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Biology and Geography M. Auezov South Kazakhstan Research University (Shymkent, Kazakhstan), kenzhebay73@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1231-6144>

Uteeva D., Lecturer at the Department of Biology and Geography of the M. Auezov South Kazakhstan Research University (Shymkent, Kazakhstan), dinarauteeva82@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0007-5143-246X>

Zhumadilova E., Lecturer at the Department of Biology and Geography, M. Auezov South Kazakhstan Research University (Shymkent, Kazakhstan), jumadilova@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0009-0384-1220>

Baimukasheva G., Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Geography and Tourism of the K. Dosmukhamedov Atyrau State University (Atyrau, Kazakhstan), gaini.baimukasheva@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4695-9543>

Авторлар туралы мәліметтер:

Кенжебай Р., педагогика ғылымдарының кандидаты, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан Зерттеу университетінің «Биология және география» кафедрасының доценті (Шымкент қ., Қазақстан)

Утеева Д., «Биология және география» кафедрасының оқытушысы, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан Зерттеу университеті (Шымкент қ., Қазақстан)

Жумадилова Э., М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан Зерттеу университетінің «Биология және география» кафедрасының оқытушысы (Шымкент қ., Қазақстан)

Баймукашева Г., педагогика ғылымдарының кандидаты, Х. Досмұхамедов атындағы Атырау мемлекеттік университетінің «География және туризм» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Атырау қ., Қазақстан)

Сведения об авторах:

Кенжебай Р., канд. педаг. наук, доцент кафедры «Биология и география» Южно-Казахстанского исследовательского университета им. М. Ауэзова (г. Шымкент, Казахстан)

Утеева Д., преподаватель кафедры «Биология и география» Южно-Казахстанского исследовательского университета им. М. Ауэзова (г. Шымкент, Казахстан)

Жумадилова Э., преподаватель кафедры «Биология и география» Южно-Казахстанского исследовательского университета им. М. Ауэзова (г. Шымкент, Казахстан)

Баймукашева Г., канд. педаг. наук, ассоциированный профессор кафедры «География и туризм» Атырауского университета им. Х. Досмұхамедова (г. Атырау, Казахстан)

Код МРНТИ 52.45.19

*Е.М. Карманов, М.Б. Барменшинова, Р.В. Шарипов

Казахский национальный исследовательский университет имени К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан)

К ВОПРОСУ КОМПЛЕКСНОГО ИЗУЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО И ФАЗОВОГО СОСТАВА МЕДНОГО ФЛОТАЦИОННОГО КОНЦЕНТРАТА

Аннотация. Представлены результаты комплексного исследования элементного и фазового состава медного флотационного концентрата ТОО «Кызылту» (Акмолинская область, Казахстан). Применялись рентгенофлуоресцентный и рентгенодифракционный анализ, микроскопия и химический анализ. Основными элементами концентрата выявлены *Cu, Fe, O, Si* и *S*, с примесями *Al, K, Mg, Ca* и *As*. Медь в концентрате представлена преимущественно сульфидными соединениями: халькопиритом (42,7%), борнитом (23,7%), сульфидом меди *Cu₂S* (7,6%) и сфалеритом (6,3%), а также вторичными минералами богмитом (2,7%) и алюминий-гидроксид силикатом (2,0%). Показаны распределение меди между сульфидными и окисленными формами и особенности совмещения минералов, что обосновывает дальнейшие направления исследования некондиционного концентрата.

Ключевые слова: медный концентрат, минералогический анализ, фазовый состав, элементный состав, сульфиды, окисленные минералы, переработка.

Мыс флотациялық концентратының элементтік және фазалық құрамын зерттеудің өзекті мәселелері

Аннотация. «Кызылту» ЖШС (Акмола облысы, Қазақстан) флотациялық мыс концентратының элементтік және фазалық құрамын зерттеудің нәтижелері ұсынылған. Зерттеуде рентгенофлуоресценттік және рентгенодифракциялық талдау, микроскопия және химиялық талдау әдістері қолданылған. Концентраттың негізгі элементтері ретінде *Cu, Fe, O, Si* және *S* анықталды, қоспа ретінде *Al, K, Mg, Ca* және *As* бар. Мыс концентратта негізінен сульфидтік қосылыстар түрінде кездеседі: халькопирит (42,7%), борнит (23,7%), мыс сульфиді *Cu₂S* (7,6%) және сфалерит (6,3%), сондай-ақ екінші реттік минералдар – богмит (2,7%) және алюминий-гидроксид силикат (2,0%). Мыс элементінің сульфидтік және оксидтік формаларға бөлінуі мен минералдардың өзара орналасу ерекшеліктері көрсетіліп, некондициялық концентратты әрі қарай зерттеудің бағыттары негізделген.

Түйінді сөздер: мыс концентраты, минералогиялық талдау, фазалық құрам, элементтік құрам, сульфидтер, тотыққан минералдар, қайта өңдеу.

To the question of comprehensive study of the elemental and phase composition of copper flotation concentrate

Abstract. The results of a comprehensive study of the elemental and phase composition of copper flotation concentrate from «Kyzyltu» LLC (Akmola Region, Kazakhstan) are presented. X-ray fluorescence and X-ray diffraction analysis, microscopy, and chemical analysis were used. The main elements of the concentrate were *Cu, Fe, O, Si*, and *S*, with minor amounts of *Al, K, Mg, Ca*, and *As*. Copper in the concentrate is represented primarily by sulfide compounds: chalcopyrite (42,7%), bornite (23,7%), copper sulfide *Cu₂S* (7,6%), and sphalerite (6,3%), as well as the secondary minerals bogmite (2,7%) and aluminum hydroxide silicate (2,0%). The distribution of copper between sulfide and oxidized forms and the specific features of mineral compatibility are demonstrated, which substantiates further directions for studying the substandard concentrate.

Key words: copper concentrate, mineralogical analysis, phase composition, elemental composition, sulfides, oxidized minerals, processing.

Введение

Комплексная переработка медных месторождений является важнейшим аспектом современной горнодобывающей промышленности, сочетая различные методы для повышения эффективности и устойчивости. Этот процесс обычно включает в себя измельчение-флотацию, кучное выщелачивание, экстракцию растворителем – электролитическое извлечение (HBL-SX-EW) и осаждение меди. Используя эти методы, горнодобывающие компании могут оптимизировать извлечение ресурсов, минимизируя воздействие на окружающую среду. Последние достижения в технологиях переработки меди обещают значительное повышение эффективности: прогнозируется повышение эффективности до 30% по сравнению с традиционными методами [1]. Более того, внедрение передовых технологий в добычу меди отражает совместные усилия ученых металлургов и горнорудных компаний, что вносит вклад в достижение более широких целей устойчивого развития.

Мировое потребление меди непрерывно росло в течение последнего десятилетия. Однако ресурсы высококачественной меди истощаются и для удовлетворения спроса крайне важно разрабатывать ресурсы низкосортной и комплексной меди, а также некондиционных флотационных медных концентратов. Содержание меди на рудниках Казахстана варьируется от 0,5% до 6%, но в среднем составляют около 1%¹, поэтому все более важным становится использование некондиционных ресурсов меди.

Сульфидные медные руды перерабатываются, главным образом, с помощью пирометаллургических технологий.

Технологические схемы переработки сульфидных руд включают стадию флотационного обогащения для получения концентратов и переработку концентратов с помощью обжига, плавки и конвертирования [2]. В настоящий момент металлургия Казахстана сталкивается с проблемой снижения содержания цветных металлов, в том числе меди в руде и исчерпания богатых легкообогащаемых руд, что вынуждает вовлекать в переработку руды, непригодные для получения кондиционных концентратов, что приводит к повышению удельных затрат на производство металлов [3]. Таким образом, получение кондиционных концентратов из руд многих медных и медно-молибденовых месторождений становится все более трудной задачей из-за исчерпания легкообогащаемого сырья, что вынуждает разрабатывать новые технологические подходы, позволяющие решить эти проблемы.

Известно, что гидрOMETаллургические технологии могут быть перспективными для переработки некондиционного минерального сырья. Было показано, что автоклавное выщелачивание может позволить удалить нежелательные компоненты из медного концентрата путем селективного выщелачивания или осаждения и таким образом, получить кондиционный медный концентрат [4]. Процесс гидрOMETаллургической оценки некондиционных флотоконцентратов месторождения «Кызылту» на предмет меди, молибдена и железа, который включает в себя определение элементного и фазового состава в образцах флотоконцентрата, имеет решающее значение. Поиск целевых компонентов в образцах требует различных аналитических под-

¹МИА «Казинформ»: сайт. Аверченко Д. Жезказган – сердце медной индустрии Казахстана: как идет добыча металла. URL: <https://www.inform.kz/preview/2f13d3a2-6a1b-498e-9f0d-146ed6f13db2?ysclid=mkcfu0in5y816560600> (дата обращения: 06.09.2025).

ходов, поэтому аналитическая лаборатория должна быть в курсе поиска и качества передаваемых образцов [5].

Используя аналитические методы, исследователи могут точно определить элементную химию этих образцов. Геохимические методы должны быть способны работать с широким диапазоном концентраций элементов в широком диапазоне образцов материалов с различными и сложными матрицами [6]. Такой подход обеспечивает точные данные, необходимые для оценки экономического потенциала некондиционных флотоконцентратов.

Наше исследование подчеркивает значение комплексного подхода, который интегрирует геологический и геохимический анализы [7]. Понимая элементный и фазовый состав, руководство горнорудной компании сможет принять обоснованное решение относительно дальнейшей разработки и управления ресурсами, что, в итоге, будет способствовать устойчивым методам добычи. В этой работе описаны несколько физико-химических методов анализа ряда проб, молибденово-медного флотоконцентрата, полученного в процессе обогащения молибденово-медных руд месторождения «Кызылту».

Экспериментальная часть

Определение элементного состава с использованием энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного (EDXRF) спектрометра Rigaku NEX CG II

Для проведения исследований был отобран образец медного флотационного концентрата «КМФ 25-58» массой 500 г (рис. 1).

Элементный состав концентрата проведен в таблице 1. Анализы элементного состава образцов выполняли с использованием энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного (EDXRF) спектрометра Rigaku NEX CG II, который представлен на рис. 2.



Рис. 1. Внешний вид исследуемого флотоконцентрата. Сурет 1. Зерттелетін флотациялық концентраттың сыртқы көрінісі.

Figure 1. Appearance of the studied flotation concentrate.



Рис. 2. Спектрометр Rigaku NEX CG II.

Сурет 2. Rigaku NEX CG II спектрометрі.

Figure 2. Rigaku NEX CG II – energy-dispersive X-ray fluorescence (EDXRF) spectrometer.

Электронные изображения получены в сигнале детектора отраженных электронов. Идентификация пиков спектра, расширенный качественный и количественный анализ основан на программном обеспечении Rigaku RPF-SQX

Таблица 1

Элементный состав флотоконцентрата «КМФ 25 – 58»

Кесте 1

«КМФ 25 – 58» флотациялық концентраттың элементтік құрамы

Table 1

Elemental composition of the flotation concentrate KMF 25 – 58

Элемент	Содержание, %	Элемент	Содержание, %
<i>Cu</i>	33,0000	<i>Ba</i>	0,0806
<i>S</i>	19,2000	<i>Bi</i>	0,0780
<i>SiO₂</i>	18,2000	<i>P₂O₅</i>	0,0725
<i>Fe</i>	13,3000	<i>Sb</i>	0,0636
<i>Zn</i>	3,4000	<i>Ag</i>	0,0537
<i>Al₂O₃</i>	5,8400	<i>Co</i>	0,0479
<i>CaO</i>	1,7900	<i>Sn</i>	0,0297
<i>K</i>	1,3400	<i>Sr</i>	0,0200
<i>Mo</i>	1,2600	<i>Se</i>	0,0185
<i>As</i>	0,1900	<i>Te</i>	0,0166
<i>Pb</i>	0,1830	<i>Rb</i>	0,0118
<i>MnO</i>	0,1210	<i>Au</i>	0,0023

Fundamental Parameters (FP), использующем технологию Rigaku Profile Fitting (RPF) и Scattering FP. Это надежное интегрированное программное обеспечение позволяет проводить полуколичественный анализ практически всех типов образцов без стандартов, а также строгий количественный анализ со стандартами.

На рис. 3 представлены идентифицированные пики спектра, полученного при анализе образца пробы «КМФ 25 – 58». Согласно представленным спектральным линиям видно, что медь, кислород, железо, кремний, сера и небольшое количество алюминия, молибдена, цинка золота и серебра являются основными составляющими образца. Перед энергодисперсионным рентгенофлуоресцентным (EDXRF), рентгенодифракционным (XRD) и микроскопическим анализами навеску концентрата промывали горячим раствором 30% изопропилового спирта для удаления флотореагентов и масел и сушили при температуре 120 °C в течение 2 часов. Осушенный концентрат имел гранулометрический состав с размерами зерен в основном от 45 до 75 мкм.

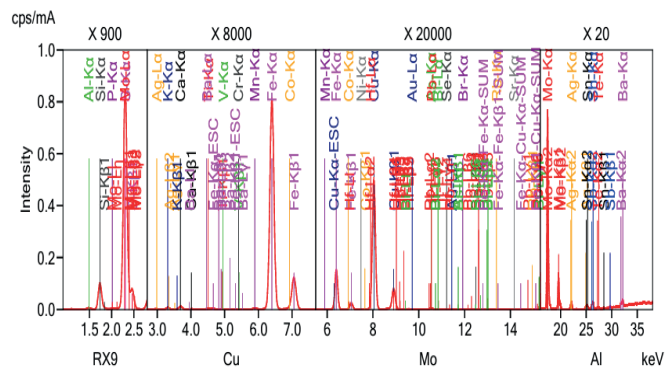


Рис. 3. Спектр флотоконцентрата «КМФ 25 – 58». Сурет 3. «КМФ 25 – 58» флотациялық концентраттың спектрі.

Figure 3. Spectrum of the flotation concentrate KMF 25 – 58.

Определение фазового состава с использованием рентгенодифракционным (XRD) спектрометром Bruker D8 Advance

Bruker D8 Advance – высокотехнологичный рентгенодифрактометр, используемый для определения фазового состава, кристаллической структуры, размеров и степени кристалличности материалов с встроенной программой идентификации фаз, представлен на рис. 4.

Из приведенного на рис. 5 рентгенодифракционного спектра также видно, что главной сульфидной фазой концентрата является халькопирит ($CuFeS_2$), четко выделившийся из остальных фаз по своим характерным дифракционным отражениям с межплоскостными расстояниями $d\alpha = 0,3020$ нм; 0,1868 нм; 0,1850 нм; 0,1827 нм; 0,1574 нм; 0,1341 нм и 0,1590 нм. Вторая по количеству фаза – борнит (Cu_5FeS_4) представлена линиями с $d = 0,1933$ нм; 0,2695 нм. Затем следуют кварц (SiO_2) ($d\alpha = 0,3340$ нм; 0,3106 нм), доломит – $Ca(Mg,Fe)(CO_3)_2$ ($d\alpha = 0,303$ нм), сульфид меди – Cu_2S ($d\alpha = 0,3406$ нм; 0,2955 нм; 0,2092 нм), богмит – $AlO(OH)$ ($d\alpha = 0,2955$ нм; 0,2092 нм)

и алюминий гидроксид силикат – $Al_6Si_4O_{14}(OH)_6$ с комплексами дифракционных отражений ($d\alpha = 0,3406$ нм; 0,2049 нм; 0,1626 нм; 0,1238 нм).



Рис. 4. Рентгеновский дифрактометр Bruker D8 Advance.

Сурет 4. Bruker D8 Advance рентгендік дифрактометрі.

Figure 4. Bruker D8 Advance X-ray diffractometer.

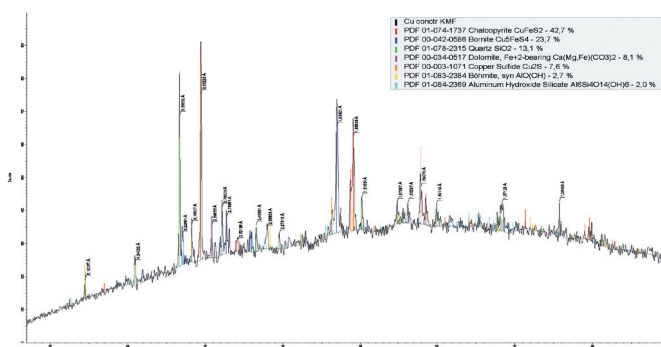


Рис. 5. Фазовый анализ флотоконцентрата «КМФ 25 – 58».

Сурет 5. «КМФ 25 – 58» флотациялық концентрат фазалық талдауы.

Figure 5. Phase analysis of the flotation concentrate KMF 25 – 58.

Минералогическое исследование образцов на микроскопе Leica DM 2500 P

Минералогическое изучение образцов проводилось в прямом отраженном свете на поляризационном микроскопе

пе Leica DM 2500 P, который представлен на рис. 6. Микроскоп дает возможность полноценно реализовать все методы контраста. Настраиваемая блокировка фокуса и мощный осветитель позволяют комфортно работать с фазовым контрастом и поляризацией.



Рис. 6. Лабораторный микроскоп Leica DM 2500 P с мощным осветителем.

Сурет 6. Қуатты жарықтандырғышы бар зертханалық Leica DM 2500 P микроскоп.

Figure 6. Laboratory microscope Leica DM 2500 P with a powerful illuminator.

Условные индексы рудных минералов на микрофото- снимках: борнитит bo, ковелин cv, куприт cp, пирит p, сфалерит spf, халькопирит chp, халькозин ch.

Микрофотосъемка искусственного аншлифа на эпоксидной связке из меднорудного концентрата, состоящего из мономинеральных обломков халькопирита, борнита, кварца, доломита, сульфида меди, а также их сростков, структур вкраплений богмита в нерудных минералах, произведена цифровой камерой Canon D 70.

Для проведения комплекса минералогических и аналитических исследований пробы флотоконцентрата предварительно были подвергнуты последовательной обработке – измельчения/дробления, квартования/сокращения, просеивания и фракционирования [3]. Прошед-

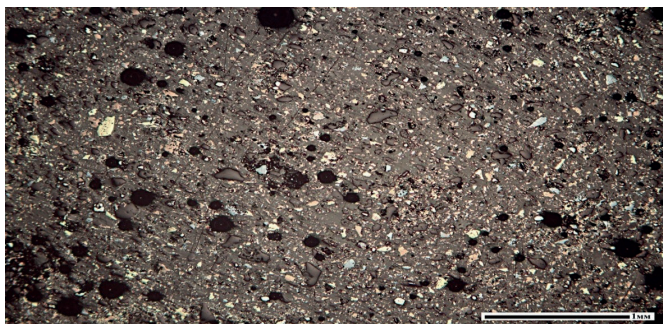


Рис. 7. Искусственный аншлиф 0946. Общий вид. Размер зерен.

Сурет 7. Жасанды аншлиф 0946. Жалпы көрінісі. Дәндерінің өлшемі.

Figure 7. Artificial thin section 0946. General view. Grain size.

шие вышеперечисленную обработку исходные пробы флотоконцентрата истирались для получения фракции с требуемым размером (0,074 ÷ 0,080 мм) с целью последующего проведения рентгенодифракционного анализа фазового состава (XRD), определения локального элементного состава с использованием сканирующего микроскопа с энергодисперсионным анализом (ЭДА), гранулометрического, минералогического и атомно-абсорбционного анализа (ААА).

Приведенные на рис. 7–12 микрофотографии, снятые с отполированных аншлифов на эпоксидной связке, показывают характер распределения отдельных металлосульфидов в концентрате, их процентные соотношения, а также пространственные связи между собой и с другими минералами. Согласно минералогическим расчетам, основными сульфидными минералами концентрата являются халькопирит $CuFeS_2$ (42,7%), борнит Cu_3FeS_4 (23,7%), сфалерит ZnS (6,3%) и сульфид меди Cu_2S (7,6%), а также вторичные минералы богмит $AlO(OH)$ (2,7%) и алюминий гидроксид силикат $Al_6Si_4O_{14}(OH)_6$ (2,0%), единичные зерна металлического золота и серебра в незначительном количестве и около 13,1% пустых пород – кварца.

Халькопирит представлен в основном по свободной форме зерен с размерами до 50 мкм. В халькопиритовых зернах иногда наблюдаются шаровидные включения золота и серебра размером около 10 мкм. Сфалерит представлен в основном в виде свободных зерен, а также в комбинациях с другими сульфидными минералами. Наблюдаются места комбинации борнита с халькопиритом и ковеллином.

Закключение

При исследовании нами флотоконцентрата «КМФ 25 – 58» представлен спектр с идентификацией определенных элементов, в результате чего выявлено, что основными составляющими элементами являются элементы медь (Cu), кислород (O), сера (S), железо (Fe) и кремний (Si).

Таким образом, как видно по микрофотографиям, сфалерит всегда присутствует в промышленном медном концентрате, так как мелкие частички этих сульфидов настолько взаимосвязаны с таковыми же зернами халькопирита, что

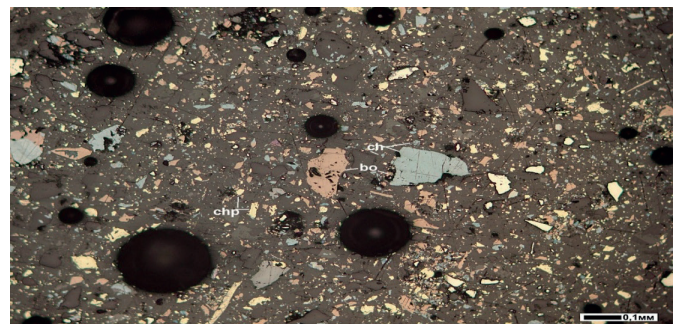


Рис. 8. Искусственный аншлиф 0947. Фрагмент (борнит, халькозин, сростки).

Сурет 8. Жасанды аншлиф 0947. Фрагмент (борнит, халькозит, қосылыстар).

Figure 8. Artificial thin section 0947. Fragment (bornite, chalcocite, aggregates).

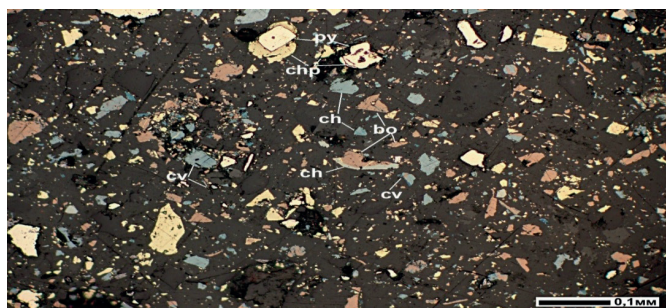


Рис. 9. Искусственный аншлиф 0948 (ковеллин, пирит, борнит, халькопирит).

Сурет 9. Жасанды аншлиф 0948 (ковеллин, пирит, борнит, халькопирит).

Figure 9. Artificial polished section 0948 (covellite, pyrite, bornite, chalcopyrite).

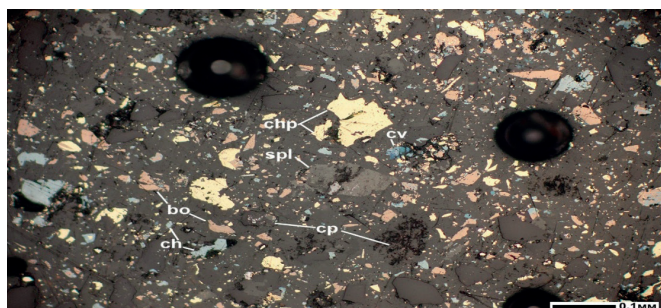


Рис. 11. Искусственный аншлиф 0950 (ковеллин, борнит, куприт, сфалерит).

Сурет 11. Жасанды аншлиф 0950 (ковеллин, борнит, куприт, сфалерит).

Figure 11. Artificial polished section 0950 (covellite, bornite, cuprite, sphalerite).

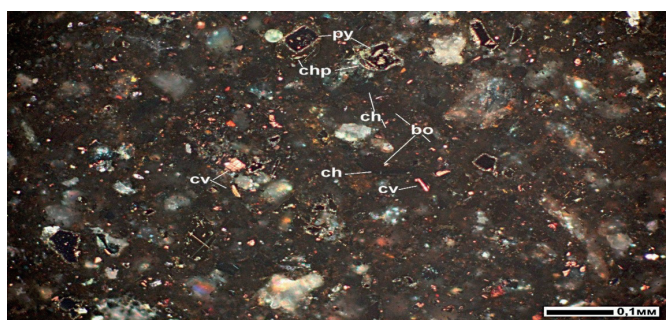


Рис. 10. Искусственный аншлиф 0949 (ковеллин, пирит, борнит, халькопирит).

Сурет 10. Жасанды аншлиф 0949 (ковеллин, пирит, борнит, халькопирит).

Figure 10. Artificial polished section 0949 (covellite, pyrite, bornite, chalcopyrite).

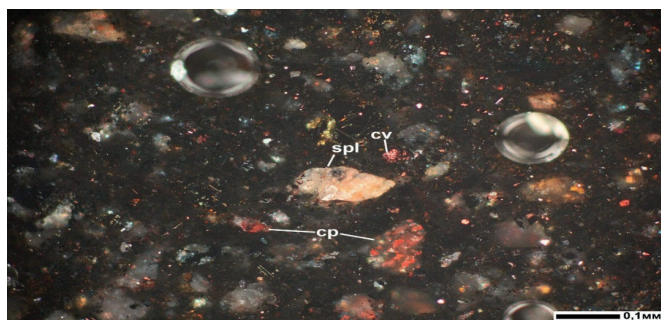


Рис. 12. Искусственный аншлиф 0951 (ковеллин, куприт, сфалерит).

Сурет 12. Жасанды аншлиф 0951 (ковеллин, куприт, сфалерит).

Figure 12. Artificial polished section 0951 (covellite, cuprite, sphalerite).

их практически никак не удастся разделить путем обычного дробления и размола в обогатительных производствах. Следовательно, медные концентраты, содержащие цинк, не рекомендуются для переработки традиционным пирометаллургическим методом для получения меди, так как оба металла будут безвозвратно потеряны [8]. Во избежание потерь меди и других попутных ценных компонентов, при переработке данного концентрата мы можем рекомендовать гидрометаллургические методы с последующим селективным извлечением из растворов всех ценных компонентов, в том числе меди, цинка, железа [9].

Проведенная работа показала, как комплексный аналитический подход может обеспечить большую производительность, интегрируя геологический и геохимический анализы для улучшения стратегии [10], а заинтересованные стороны, получив на руки конкретные данные по элементному и фазовому составу на данном участке, смогут принимать обоснованные решения относительно дальнейшей разработки и управления ресурсами, что, в итоге, будет способствовать устойчивым методам добычи, гарантируя максимальное обеспечение современных требований по охране окружающей среды [11].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Чен Дж. Х., Го С. Цз., Ли Х. С. (Август 2020). Реализация и практика интегрированного процесса извлечения меди из низкокачественной руды на руднике Цицизиньшань. *Гидрометаллургия*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304386X19309831> (на английском языке)
2. Марченко Н.В., Вершинина Е.П., Гильдебрандт Э.М. *Металлургия тяжелых цветных металлов: учеб.-метод. пособие: Красноярск: ИПК СФУ, 2009. 394 с. (на русском языке)*
3. Кроусон Ф. Некоторые наблюдения по выходам меди и содержанию руды // *Ресурсная политика*. 2012. Т. 37. С. 59–72 (на английском языке)
4. Иванов Б.В., Бодуэн А.Я., Ягудина Ю.Р. Возможность гидрометаллургического кондиционирования низкосортных концентратов, полученных при переработке медно-колчеданных руд // *Цветные металлы*. 2014. № 11 (863). С. 42–46 (на русском языке)

5. Дурани С., Кришнакумар М., Сатьянараяна К. Разделение твердой фазы и определение примесей редкоземельных элементов в урановом оксиде методом ICP-OES/ICP-MS // Журнал радиохимического и ядерного анализа. 2012. № 294. С. 215–222 (на английском языке)
6. Методы геохимии и геофизики. Гл. 7 – Подготовка лабораторной пробы, 1972. Т. 6. С. 57–70 (на английском языке)
7. Чен Л., Ван Х., Сун С., Чанг Х., Дин В. (2 июня 2025). Применение интегрированного геохимического и геофизического исследования для прогнозирования потенциальных медно-золотых полиметаллических месторождений в районе «Фудийиньцзы – Бачели», провинция «Хэйлунцзян». Минералы. <https://www.mdpi.com/2075-163X/15/6/597> (на английском языке)
8. Саргсян Л.Е., Оганесян А.М., Варданян Д.Г. Исследование фазового и минерального состава медного концентрата с повышенным содержанием цинка и свинца // Наука и современность. 2013. С. 140–145 (на русском языке)
9. Некоторые современные способы переработки медеплавильного шлака / Бекимбаева Г.С. [и др.] // Труды университета. 2024. № 2 (95). С. 32–37 (на русском языке)
10. Мохамед И. Абдель-Фаттах, Хамдан А. Хамдан, Аднан К. Махди, Закария М. Абд-Аллах, Незар А. Хаммури, Сара М. Абузид. (26 ноября 2025). Комплексный подход и новые представления о потенциале сланцевого газа: геологическая, петрофизическая, геохимическая и геомеханическая оценка формации Хататба (Западная пустыня, Египет). Нефтяные исследования. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2096249525001127> (на английском языке)
11. Продвижение к устойчивому развитию: появление технологий и практик «зеленой» добычи полезных ископаемых / Онифаде М. [и др.] // Зеленая и умная горная инженерия. 2024. Т. 1. № 2. С. 157–174 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕРДІҢ ТІЗІМІ

1. Чен Дж. Х., Го С. Цз., Ли Х. С. (Тамыз 2020). «Цзицзиньшань» кенішіндегі төмен сапалы кеннен мыс алу үшін біріктірілген процесі іске асыру және тәжірибе. Гидрометаллургия. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304386X19309831> (ағылшын тілінде)
2. Марченко Н.В., Вершинина Е.П., Гильдебрандт Э.М. Ауыр түсті металдардың металлургиясы: оқу-әдістемелік құрал: Красноярск: ИПК СФУ, 2009. 394 б. (орыс тілінде)
3. Кроусон Ф. Мыс шығымдылығы және кен құрамына қатысты кейбір байқаулар // Саясат ресурстар. 2012. Т. 37. Б. 59–72 (ағылшын тілінде)
4. Иванов Б.В., Бодуэн А.Я., Ягудина Ю.Р. Мыс-қорғасын колчедан кендерін өңдеу барысында алынған төмен сапалы концентраттарды гидрометаллургиялық кондициялау мүмкіндігі // Түсті металдар журналы. 2014. № 11 (863). Б. 42–46 (орыс тілінде)
5. Дурани С., Кришнакумар М., Сатьянараяна К. ICP-OES/ICP-MS әдісімен уран оксидіндегі сирек элементтері қоспаларын қатты фазадан бөлу және анықтау // Радиохимиялық және ядролық талдау журналы. 2012. № 294. Б. 215–222 (ағылшын тілінде)
6. Геохимия және геофизика әдістері. 7-тарау – Лабораториялық үлгіні дайындау, 1972. Т. 6. Б. 57–70 (ағылшын тілінде)
7. Чен Л., Ван Х., Сун С., Чанг Х., Дин В. (2 маусым 2025). «Фудийиньцзы – Бачели» ауданындағы, «Хэйлунцзян» провинциясындағы мыс-алтын полиметалл кен орындарының әлеуетін болжау үшін интеграцияланған геохимиялық және геофизикалық зерттеуді қолдану. Минералдар. <https://www.mdpi.com/2075-163X/15/6/597> (ағылшын тілінде)
8. Саргсян Л.Е., Оганесян А.М., Варданян Д.Г. Мыстың концентрацияланған концентратының цинк және қорғасын құрамын арттырғандағы фазалық және минералдық құрамын зерттеу // Ғылым және заман журналы. 2013. Б. 140–145 (орыс тілінде)
9. Мыс балқыту шлактарын өңдеудің кейбір заманауи әдістері / Бекимбаева Г.С. [және т. б.] // Университет еңбектері журналы. 2024. № 2 (95). Б. 32–37 (орыс тілінде)
10. Мохамед И. Абдель-Фаттах, Хамдан А. Хамдан, Аднан К. Махди, Закария М. Абд-Аллах, Незар А. Хаммури, Сара М. (26 қараша 2025). Шельфтік газ әлеуетін интеграцияланған бағалау: Хататба формациясының (Батыс шөл, Мысыр) геологиялық, петрофизикалық, геохимиялық және геомеханикалық зерттеуі. Мұнай зерттеулері журналы. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2096249525001127> (ағылшын тілінде)
11. Тұрақтылыққа жету: жасыл тау-кен технологиялары мен практикаларының пайда болуы / Онифаде М. [және т. б.] // Жасыл және ақылды тау-кен инженериясы. 2024. Т. 1. № 2. Б. 157–174 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Chen J.H., Guo X.J., Li H.X. (August 2020). Implementation and practice of an integrated process to recover copper from low grade ore at Zijinshan mine. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304386X19309831> (in English)

2. Marchenko N.V., Vershinina E.P., Hildebrandt E.M. *Metallurgiya tyazhelykh tsvetnykh metallov: ucheb. metod. posobie [Metallurgy of Heavy Non-Ferrous Metals: Textbook and Methodological Guide]*. Krasnoyarsk: IPK SFU, 2009. 394 p. (in Russian)
3. Crowson P. *Some Observations on Copper Yields and Ore Grades // Resources Policy*. 2012. V. 37 (1). 59–72 pp. (in English)
4. vanov B.V., Boduen A.Ya., Yagudina Yu.R. *Vozmozhnost' gidrometallurgicheskogo konditsionirovaniya nizkosortnykh kontsentratorov, poluchennykh pri pererabotke medno-kolchedannykh rud [Possibility of hydrometallurgical conditioning of low-grade concentrates obtained from the processing of copper-pyrite ores], svetnye metally [Non-Ferrous Metals]*. 2014. No. 11 (863). 42–46 pp. (in Russian)
5. Durani S., Krishnakumar M., Satyanarayana K. *Solid phase separation and ICP-OES/ICP-MS determination of rare earth impurities in nuclear grade uranium oxide // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2012. No. 294. 215–222 pp. (in English)
6. *Methods in Geochemistry and Geophysics. Chapter 7 – Preparation of the Laboratory Sample, 1972. V. 6.* 57–70 pp. (in English)
7. Chen L., Wang H., Sun C, Chang X., Ding W. (June 2, 2025). *The Application of Integrated Geochemical and Geophysical Exploration for Prospecting Potential Prediction of Copper and Gold Polymetallic Deposits in the Fudiyngzi – Bachel Area, Heilongjiang Province. Minerals*. <https://www.mdpi.com/2075-163X/15/6/597> (in English)
8. Sargsyan L.E., Oganesyanyan A.M., Vardanyan D.G. *Issledovanie fazovogo i mineral'nogo sostava mednogo kontsentrata s povyshennym soderzhanie tsinka i svintsa [Study of the Phase and Mineral Composition of Copper Concentrate with Increased Zinc and Lead Content], Nauka i sovremennost' [Science and Modernity]*. 2013. 140–145 pp. (in Russian)
9. *Nekotorye sovremennye sposoby pererabotki medeplavil'nogo shlaka [Some Modern Methods of Processing Copper Smelting Slag], Bekimbaeva G.S. [et al.], Trudy universiteta [Proceedings of the University]*. 2024. No. 2 (95). 32–37 pp. (in Russian)
10. Mohamed I. Abdel-Fattah, Hamdan A. Hamdan, Adnan Q. Mahdi, Zakaria M. Abd-Allah, Nezar A. Hammouri, Sara M. Abuzied. (November 26, 2025). *Integrated Approach and Insights into Shale Gas Potential: Geological, Petrophysical, Geochemical, and Geomechanical Evaluation of the Khatatba Formation (Western Desert, Egypt). Petroleum Research*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2096249525001127> (in English)
11. *Advancing toward sustainability: The emergence of green mining technologies and practices / Onifade M. [et al.] // Green and Smart Mining Engineering*. 2024. V. 1. No. 2. 157–174 pp. (in English)

Информация об авторах:

Карманов Е.М., докторант кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых», Казахский национальный исследовательский университет им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан), yerposhock@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0005-0555-9078>

Барменишинова М.Б., канд. техн. наук, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой «Металлургия и обогащение полезных ископаемых», Казахский национальный исследовательский университет им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан), m.barmenshinova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0003-0534-2387>

Шарипов Р.В., магистр, инженер кафедры «Химические процессы и промышленная экология», Казахский национальный исследовательский университет им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан), rustem.sharipov@satbayev.university; <https://orcid.org/0009-0001-2911-5026>

Авторлар туралы мәліметтер:

Карманов Е.М., Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу университеті «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының докторанты (Алматы қ., Қазақстан)

Барменишинова М.Б., техн. ғылым. канд., қауымдастырылған профессор, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу университеті «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының меңгерушісі (Алматы қ., Қазақстан)

Шарипов Р.В., магистр, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу университетінің «Химиялық процестер және өнеркәсіптік экология» кафедрасының инженері (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Karmanov Ye.M., doctoral student at the «Department of Metallurgy and Mineral Processing», Kazakh National Research University named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan)

Barmenshinova M.B., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the «Department of Metallurgy and Mineral Processing» at Kazakh National Research University named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan)

Sharipov R.V., MS, Engineer at the «Department of Chemical Processes and Industrial Ecology», Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satbayev (Almaty, Kazakhstan)

Код МРНТИ 53.37.13

*A.T. Mamutova¹, T.A. Chepushtanova², B. Mishra³¹Ust-Kamenogorsk Titanium and Magnesium Plant JSC (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan),²Department of «Metallurgy and mineral processing», Satbayev University (Almaty, Kazakhstan),³Worcester Polytechnic Institute (Worcester, USA)

THERMODYNAMIC PREDICTION OF THE TECHNOLOGICAL CONDITIONS FOR PRODUCING THE Ti-10V-2Fe-3Al ALLOY BY VACUUM ARC REMELTING

Abstract. This paper presents the results of a thermodynamic analysis of equilibrium phase diagrams for systems relevant to the ternary-melt *Ti-10V-2Fe-3Al* alloy, along with calculations of thermodynamic parameters and a staged thermodynamic prediction of the technological conditions for vacuum arc remelting (VAR). Three remelting stages are justified thermodynamically: the first melt removes coarse *Fe*, *V*, and *Al* oxides; the second melt breaks down most *FeTi/Fe₂Ti* intermetallics and transfers part of the titanates into slag; the third melt brings the system close to equilibrium, minimizing oxide and intermetallic inclusions. Practical recommendations were developed based on the thermodynamic analysis, including the required vacuum level ($pO_2 \leq 10^{-20}-10^{-22}$), control of *O*, *N*, and *H* impurities, requirements for alloying additions, conditions for ternary remelting, and β -homogenization.

Key words: vacuum arc remelting, titanium alloys, process thermodynamics, ternary remelting, prediction, stable compounds.

Ti-10V-2Fe-3Al қорытпасын вакуумдық-доға балқыту әдісімен өндіру технологиясының шарттарын термодинамикалық болжау

Аннотация. Бұл мақалада үш рет балқытылатын *Ti-10V-2Fe-3Al* титан қорытпасына сәйкес жүйелердің тепе-теңдік диаграммалары бойынша жүргізілген термодинамикалық талдау нәтижелері, термодинамикалық параметрлердің есептеулері, сондай-ақ вакуумдық-доға балқыту (ВДП) технологиясы шарттарын кезеңдік термодинамикалық болжау берілген. Үш реттік ВДП балқытудың термодинамикалық негіздемесі көрсетілді: бірінші балқыту – *Fe*, *V*, *Al* ірі оксидтерін жою; екінші балқыту – *FeTi/Fe₂Ti* интерметаллидтерінің басым бөлігін ыдыратып, титанаттардың бір бөлігін қожға шығару; үшінші балқыту – жүйені тепе-теңдікке жақын күйге жеткізу, оксидтік және интерметаллидтік қосылыстарды барынша азайту. Термодинамикалық талдау негізінде практикалық ұсынымдар жасалды: вакуум деңгейі ($pO_2 \leq 10^{-20}-10^{-22}$), *O*, *N*, *H* қоспаларын бақылау, лигатураға қойылатын талаптар, үш реттік балқыту шарттары, β -гомогенизация.

Түйінді сөздер: вакуумдық-доға балқыту, титан қорытпалары, процестің термодинамикасы, үш реттік балқыту, болжау, тұрақты қосылыстар.

Термодинамическое прогнозирование условий технологии получения сплава Ti-10V-2Fe-3Al методом вакуумно-дуговой плавки

Аннотация. В статье приведены результаты термодинамического анализа диаграмм равновесного состояния систем, соответствующих сплаву тройного переплава *Ti-10V-2Fe-3Al*, расчеты термодинамических параметров и стадийное термодинамическое прогнозирование условий технологии вакуумно-дуговой плавки (ВДП) получения сплавов тройного переплава: 1 переплав – удаление грубых оксидов *Fe*, *V*, *Al*; 2 – разрушение большей части интерметаллидов *FeTi/Fe₂Ti* и вывод части титанатов в шлак; 3 – доведение системы до состояния, близкого к равновесному, с минимальной долей оксидных и интерметаллидных включений. Разработаны практические рекомендации согласно термодинамическому анализу, глубина вакуума ($pO_2 \leq 10^{-20}-10^{-22}$); контроль *O*, *N*, *H*, требования к лигатуре; условия тройного переплава, β -гомогенизация.

Ключевые слова: вакуумно-дуговая плавка, титановые сплавы, термодинамика процесса, тройной переплав, прогнозирование, устойчивые соединения.

Introduction

In recent decades, titanium alloys have accounted for approximately 15–30% of the mass of airframes and gas-turbine engines in modern aircraft, reaching even higher levels in certain load-bearing and landing-gear components due to their unique combination of high specific strength, corrosion resistance, and performance at elevated temperatures [1, 2]. The growing share of titanium is driven by its exceptional property suite—high thermal stability, bifunctional behavior under cyclic loading, and compatibility with next-generation composite materials. These characteristics allow significant weight reduction, increased service life of components, and enhanced aircraft safety. The growing share of titanium is driven by its exceptional property suite—high thermal stability, bifunctional behavior under cyclic loading, and compatibility with next-generation composite materials.

The current state and future prospects of the titanium industry, along with the key physical-metallurgical principles governing the formation of structure and properties in titanium alloys, are comprehensively reviewed in the seminal work by Banerjee and Williams [1], which emphasizes a shift from empirical processing selection toward science-based alloy and process design.

Metastable β - and ($\alpha+\beta$) alloys occupy a special place among structural titanium materials, offering high strength while maintaining adequate fracture toughness and fatigue

resistance [1, 3]. A classical representative of this group is the *Ti-10V-2Fe-3Al* (*Ti-10-2-3*) alloy, widely used in aerospace applications (landing-gear components, load-bearing airframe parts) due to the ability to finely tune its microstructure (volume fraction and morphology of the α phase, β matrix, α' martensite, ω phase) through thermomechanical processing and ageing [4–7]. Modern studies show that this alloy exhibits a broad spectrum of deformation mechanisms—from stress-induced martensitic transformation to TRIP/TWIP effects—providing new opportunities for further improving the strength-ductility balance [3–5, 7].

However, translating laboratory-scale processing to an industrial ternary (multiple) vacuum arc remelting (VAR) route requires thermodynamically grounded control of impurity content (*O*, *N*, *H*, *C*) and phase composition in the *Ti-V-Fe-Al* system. Reviews on high-strength titanium alloys for aerospace applications [2] and on metastable β alloys [3, 8] emphasize that melt purification, management of β stabilizers, and controlled phase transformations ($\beta \rightarrow \alpha$, $\beta \rightarrow \alpha'$, $\beta \rightarrow \omega$) are the key factors governing the reliability and service life of critical components. The increasing use of *Ti-10-2-3* presents new challenges for metallurgical enterprises, especially in countries where industrial production of such β alloys has not previously been implemented. Achieving industrial-quality ingots of *Ti-10-2-3* requires: a deep understanding of the thermodynamic features of the *Ti-V-Fe-Al* system; development of optimal

VAR and ternary-remelting regimes; strict control of gaseous impurities (*O*, *N*, *H*) that determine brittleness and durability of the β phase; formation of a homogeneous microstructure free of dendritic segregation and intermetallic inclusions; and adaptation of downstream deformation and heat-treatment routes to the required final properties [9, 10].

Against this background, improving the technology for producing *Ti-10-2-3* ternary-remelt ingots by vacuum arc melting – using modern modeling and experimental approaches – constitutes an important scientific and practical task aimed directly at increasing the share of domestically produced titanium alloys in critically loaded aerospace components.

The aim of the present study was thermodynamic prediction of the technological conditions for producing the *Ti-10V-2Fe-3Al* alloy by vacuum arc melting, as well as analysis of microstructural evolution during heat treatment and stabilization of structural features and gas content (*O/N/H*) in the system.

Materials and methods of research

Initial materials

The object of the study was a ternary-remelting *Ti-10V-2Fe-3Al* ingot produced by vacuum arc melting (VAR) according to the customer-specified composition: *Al* 2.60–3.40%, *V* 9.00–11.00%, *Fe* 1.60–2.20%, *O* max. 0.13%. Thermodynamic calculations and phase-diagram modelling were performed for this composition.

The production of this ingot involved the following input materials, whose chemical compositions are presented in Tables 1–3:

Research Methods

For the thermodynamic calculations, the HSC Science software (Phase Diagram module) by Outokumpu Oy was used. For technological prediction of the ternary VAR (vacuum arc remelting) process, it is appropriate to select temperature rang-

es associated with specific stages of the process: the melting region / VAR molten pool (1750–1950 °C), corresponding to removal of *O*, *N*, *H*, *Cl*, and Mg and melt-gas-oxide equilibrium; the β -region and ingot homogenization (900–1100 °C), corresponding to β -homogenization, dissolution of intermetallic phases, and chemical uniformity; the $\alpha+\beta$ region and ageing (700–900 °C), corresponding to the formation of the working $\alpha+\beta$ microstructure of *Ti-10-2-3*; and the oxidation / α -case region (600–900 °C), corresponding to the behavior of the *Ti-Al-O* system and the growth of the oxygen-enriched layer.

These temperature intervals are of technological interest for intensifying and predicting the process; therefore, an analysis of the predominant and thermodynamically stable phases in the systems was carried out.

Results and their discussion

Equilibrium-state diagrams were obtained for the following systems: *Ti-V-O*, *Ti-Fe-Al*, *Ti-Fe-O*, and *Ti-Al-O* (Fig. 1).

For the *Ti-V-O* system, it was established that at high temperatures (≈ 1800 – 3000 °C), not only titanium oxides but also a sequence of vanadium oxides (*VO*₂, *V*₂*O*₃, *V*₃*O*₅, etc.) remain stable at very low *pO*₂ (Fig. 1a). This indicates that vanadium in the *Ti-10-2-3* alloy thermodynamically behaves as an oxygen «getter»: when oxygen is introduced, *V* oxidizes preferentially over *Ti*, and the resulting vanadium oxides transfer into slag/inclusions. Consequently, during VAR melting of *Ti-10-2-3*, part of the vanadium effectively behaves as a deoxidizer, which reduces the activity of oxygen in the metallic phase but simultaneously leads to a loss of effective V due to its conversion into oxides.

Analysis of the *Ti-V-O* diagram shows that under conditions characteristic of vacuum arc melting, vanadium is the most thermodynamically favorable oxygen acceptor. This results in preferential formation of vanadium oxides and a reduction in

Table 1

Composition of aluminum granules

Кесте 1

Алюминий түйіршіктерінің құрамы

Таблица 1

Состав алюминиевых гранул

Element	<i>Al</i>	<i>Zn</i>	<i>Si</i>	<i>Fe</i>	<i>Mn</i>	<i>Mg</i>	<i>Ni</i>	<i>Pb</i>	<i>Sn</i>	<i>Ti</i>	<i>Cr</i>	<i>Cd</i>	<i>Be</i>	<i>Cu</i>	<i>C</i>
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Content, %	99,8	0,003	0,025	0,113	0,02	0,0002	0,0051	0,001	0,0007	0,007	0,001	0,0001	0,0001	0,0004	0,002

Table 2

The composition of the V-Al-Fe ligature

Кесте 2

V-Al-Fe лигатурасының құрамы

Таблица 2

Состав лигатуры V-Al-Fe

Element	<i>V</i>	<i>Al</i>	<i>Fe</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>Cr</i>	<i>Cu</i>	<i>Mo</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Si</i>	<i>N</i>	<i>O</i>
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Content, %	66,6	21,1	12,1	0,001	0,001	0,01	0,002	0,01	0,001	0,003	0,10	0,03	0,03

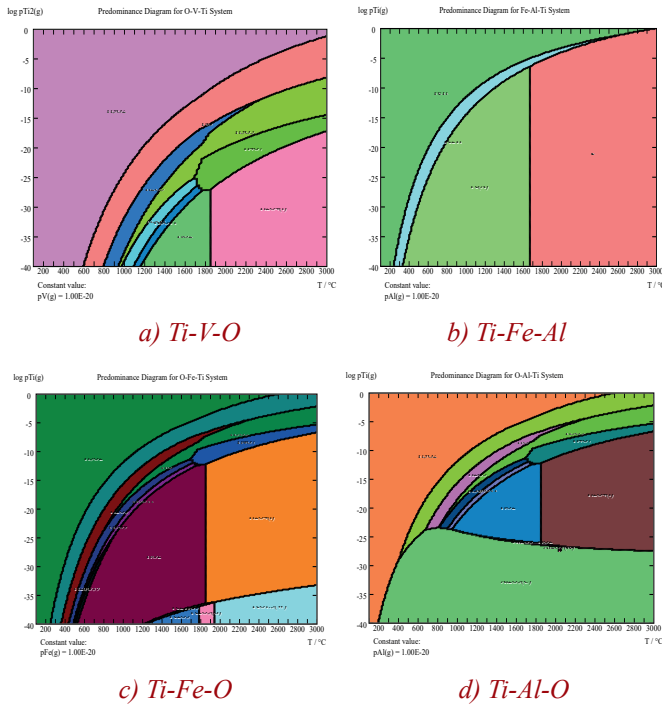


Figure 1. Equilibrium state diagrams of systems.
Сурет 1. Жүйелердің тепе-теңдік күй диаграммалары.
Рис. 1. Диаграммы равновесного состояния систем.

oxygen activity in the metallic phase, but is accompanied by the transfer of vanadium into the slag phase. This factor must be considered when balancing V in the charge and selecting the number of remelting cycles.

For the **Ti-Fe-Al** system, the stable states FeTi , Fe_2Ti and elemental Fe were identified, with iron dominating in the high-temperature region: at $\approx 2000^\circ\text{C}$ and low partial pressures of $\text{Ti}_2(g)$ and $\text{Al}_2(g)$, the FeTi and Fe_2Ti fields occupy a significant portion of the diagram (Fig. 1b). This shows that iron does not merely remain as elemental Fe but tends to form very stable intermetallics FeTi and Fe_2Ti with titanium; this thermodynamically explains why insufficient homogenization and an insufficient number of remelts lead to brittle FeTi inclusions and Fe-rich dendrites in titanium ingots.

The predominance of FeTi and Fe_2Ti in the **Ti-Fe-Al** diagram at $\approx 2000^\circ\text{C}$ indicates the high thermodynamic stability of these intermetallics even in the liquid pool of VAR. This justifies the requirement for multiple (at least ternary) remelting of **Ti-10V-2Fe-3Al** and subsequent β -homogenization to break down FeTi particles and redistribute iron into the β matrix. It was also established that, from a VAR-process optimization standpoint, any excess Fe in the charge immediately increases the fraction of $\text{FeTi}/\text{Fe}_2\text{Ti}$; therefore strict control of Fe to $\leq 2\%$ combined with ternary remelting is necessary to minimize intermetallics.

For the **Ti-Fe-O** system, the diagram shows that oxide phases such as FeTiO_3 , Fe_2TiO_5 , Fe_2TiO_3 and $\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$ are stable over a very wide range of temperatures and oxygen partial pressures (Fig. 1c). These phases represent thermodynamically favorable traps for both oxygen and iron. Thus, in the presence of oxygen, part of the Fe and Ti is consumed to form these stable complex oxides, which remove oxygen from the

metallic phase (advantage) but simultaneously deplete the alloy in Ti and Fe (drawback). Almost all of these oxide phases are in equilibrium with nearly pure iron under certain conditions, meaning that iron can be readily segregated into slag as titanates if oxygen is not sufficiently suppressed.

Thermodynamic analysis of the **Ti-Fe-O** system showed that at $1100\text{--}1600^\circ\text{C}$, complex oxides such as FeTiO_3 , Fe_2TiO_5 , Fe_2TiO_3 and $\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$ remain stable, simultaneously binding iron and oxygen. These phases act as thermodynamic sinks for Fe and O in the slag; however, their formation is accompanied by the loss of titanium and iron from the melt. This imposes strict constraints on the oxygen content in the charge and justifies the requirement for deep vacuum during VAR remelting.

Furthermore, O_2 levels in both the metal and chamber must be kept sufficiently low so that these ternary oxides do not enter their stability fields; otherwise, Ti and Fe losses to slag may occur.

For the **Ti-Al-O** system, analysis of the diagram shows that Al_2O_3 and $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{TiO}_2$ are extremely stable even at high temperatures (Fig. 1d). This means that any oxide film on aluminum in the charge will not be reduced under VAR conditions. At very low $p\text{O}_2$ and high titanium activity, aluminum tends to form the intermetallic phase AlTi rather than oxides, meaning that Al behaves as an α -stabilizer provided it has not already oxidized to Al_2O_3 . The combined stability of Al_2O_3 and TiO_2 explains the formation of α -case and oxide inclusions if heat treatment is performed outside of vacuum or inert atmosphere.

Thermodynamic analysis of the **Ti-Al-O** diagram showed that Al_2O_3 and mixed oxides $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{TiO}_2$ possess extremely high thermodynamic stability in the $1600\text{--}2000^\circ\text{C}$ range. Under vacuum arc melting conditions, these phases are practically non-reducible, meaning that any oxide film on the aluminum master alloy will fully transfer into non-metallic inclusions. Therefore, the oxygen purity of the aluminum feedstock is a critical factor for the quality of **Ti-10V-2Fe-3Al** ingots. It was also determined that aluminum master alloy must be etched and cleaned from its oxide film, and that heat treatment of the ingots must be conducted only in vacuum or high-purity Ar, otherwise α -case (TiO_2 + oxygen-enriched α layer) will form.

Thermodynamic calculations for β -annealing temperatures ($1000\text{--}1100^\circ\text{C}$) are summarized in Table 3.

It was established that at β -annealing temperatures ($1000\text{--}1100^\circ\text{C}$), the thermodynamically most stable phases are Al_2O_3 , TiO_2 , and the mixed titanate $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{TiO}_2$. Aluminum oxide and aluminum titanate are therefore extremely stable and, once introduced into the **Ti-10V-2Fe-3Al** melt, are not reduced under vacuum arc remelting conditions. These phases are retained in the alloy as persistent non-metallic inclusions, making reliable prediction of their formation essential for effective melt control.

Table 5 presents the general technological recommendations derived from the thermodynamic analysis of the VAR process (Table 4).

Based on the thermodynamic analysis of equilibrium systems relevant to vacuum arc remelting of ternary-remelted alloys, a framework for thermodynamic forecasting of technological conditions has been developed and practical recommendations have been formulated:

Table 3

Standard Gibbs energy ΔG° of formation of oxides and titanate in the Ti-Al-O system (β -annealing temperature range of Ti-10V-2Fe-3Al)

Кесте 3

Ti-Al-O жүйесіндегі оксидтер мен титанаттың түзілуінің стандартты Гиббс энергиясы ΔG° (Ti-10V-2Fe-3Al β -күйдіру температура диапазоны)

Таблица 3

Стандартная энергия Гиббса ΔG° образования оксидов и титаната в системе Ti-Al-O, (диапазон температур β -отжига Ti-10V-2Fe-3Al)

Reaction	Temperature, °C	ΔG° , kJ/mol	Comment
$2Al(s) + 3/2 O_2(g) \rightarrow Al_2O_3(s)$	1000 °C	≈ -1304	Very high thermodynamic stability of Al_2O_3
$2Al(s) + 3/2 O_2(g) \rightarrow Al_2O_3(s)$	1100 °C	≈ -1276	Slight decrease in the absolute value of ΔG° with increasing T, but Al_2O_3 remains extremely stable
$Ti(s) + O_2(g) \rightarrow TiO_2(s)$	1000 °C	≈ -672	Stable titanium oxide, but significantly «weaker» in ΔG° than Al_2O_3
$Ti(s) + O_2(g) \rightarrow TiO_2(s)$	1100 °C	≈ -656	Formation energy in absolute value is almost twice lower than that of Al_2O_3

Table 4

General technological recommendations according to thermodynamic analysis of the vacuum arc melting process

Кесте 4

Вакуумдық доғалық балқыту процесінің термодинамикалық талдауы бойынша жалпы технологиялық ұсыныстар

Таблица 4

Общие технологические рекомендации согласно термодинамическому анализу процесса ВДП

Factor / Diagram / Stage	Physical Meaning	Technological Requirement	Practical Consequence
Stage I VAR: melting	Formation of the liquid β -phase	Stable arc, required superheat	Uniform electrode melting
Stage II VAR: degassing	Removal of H, N, O	Deep vacuum 10^{-2} – 10^{-3} Pa	Reduction of gases in the ingot
Stage III VAR: solidification	Formation of β / $\alpha+\beta$ structure	Control of cooling rate	Minimal dendritic segregation
Stage IV: remelting	Approach to equilibrium	Necessity of ternary remelting	Homogeneous structure
Stage V: ingot homogenization	Chemical composition leveling	Soaking in the β -region	Absence of intermetallics

– control of vanadium behavior as an internal deoxidizer: according to the **Ti-V-O** phase diagram, vanadium is the most thermodynamically favorable oxygen acceptor, resulting in preferential formation of vanadium oxides and a reduction in oxygen activity in the alloy. This necessitates accounting for vanadium losses during vacuum arc remelting and adjusting its content in the charge accordingly;

– high thermodynamic stability of **FeTi/Fe₂Ti** intermetallics: the **Ti-Fe-Al** diagram at $T \approx 2000$ °C demonstrates the predominance of **FeTi** and **Fe₂Ti** stability fields, confirming the thermodynamic inevitability of iron-titanium intermetallic formation even at low **Fe** concentrations. This substantiates the necessity of ternary VAR remelting and subsequent β -homogenization to disrupt intermetallic regions and ensure chemical uniformity;

– ternary **Fe-Ti-O** oxides as traps for **Fe** and **O**: the **Ti-Fe-O** diagram shows the stability of **FeTiO₃**, **Fe₂TiO₄**, **Fe₂TiO₅**, and **FeO·TiO₂** phases, which bind iron and oxygen in the slag phase. While this allows the slag to act as an effective scavenger for **Fe** and **O**, it simultaneously imposes an upper limit on permissible oxygen content in order to minimize titanium losses;

– irreducible stability of **Al₂O₃** and **Al₂O₃·TiO₂**: according to the **Ti-Al-O** diagram, aluminum oxide and aluminum titanates are practically non-reducible under VAR conditions. Consequently, the oxide film on the aluminum master alloy represents a critical source of persistent non-metallic inclusions in **Ti-10V-2Fe-3Al**;

– justification for the ternary remelting scheme: the combined analysis of all four systems shows that the first remelt

removes coarse *Fe*-, *V*-, and *Al*-based oxides; the second remelt breaks down the majority of *FeTi/Fe₂Ti* intermetallics and transfers part of the titanates into the slag; and the third remelt brings the system close to thermodynamic equilibrium, minimizing the content of oxide and intermetallic inclusions;

– process regimes and limitations for industrial production of *Ti-10V-2Fe-3Al*: thermodynamic diagrams enable formulation of the following practical recommendations: maintenance of deep vacuum during VAR with effective $pO_2 \leq 10^{-20}$ – 10^{-22} ; strict control of *O*, *N*, and *H* in the charge (particularly in the

aluminum master alloy and ferrovanadium); mandatory ternary remelting combined with β -homogenization; and heat treatment exclusively in vacuum or high-purity argon to prevent α -case formation.

Acknowledgements

The research was carried out with the financial support of the agreement № 1090-TMK from 02.11.2025 / 11-168 from 19.11.2025 г. of Ust-Kamenogorsk Titanium and Magnesium Plant JSC.

REFERENCES

1. Banerjee D., Williams J.C. *Perspectives on Titanium Science and Technology // Acta Materialia*. 2015. No. 61 (3). 844–879 pp. (in English)
2. Cutting fluid application for titanium alloys Ti-6Al-4V and Ti-10V-2Fe-3Al in a finish turning process / Taylor C.M. [et al.] // *Procedia CIRP*. 2018. No. 77. 441–444 pp. (in English)
3. Microstructure and microhardness evolution of Ti-10V-2Fe-3Al alloy under tensile/torsional deformation modes / Wang X. [et al.] // *Journal of Alloys and Compounds*. 2021. No. 881. 160484 p. (in English)
4. High strain rate deformation of aged TRIP Ti-10V-2Fe-3Al (wt.%) / Ellyson B. [et al.] // *Acta Materialia*. 2023. No. 258. 119041 p. (in English)
5. High-strength titanium alloys for aerospace engineering applications: A review on melting-forging process / Zhao Q. [et al.] // *Materials Science and Engineering A*. 2022. No. 845. 143260 p. (in English)
6. Deformation behavior of metastable Ti-10V-2Fe-3Al alloy subjected to varying pre-strain levels: Mechanism and microstructural adaptations / Zhu E. [et al.] // *Journal of Alloys and Compounds*. 2025. No. 1029. 180798 p. (in English)
7. Microstructural evolution in the surface of Ti-10V-2Fe-3Al alloy by solution treatments / Qi L. [et al.] // *Progress in Natural Science: Materials International*. 2020. No. 30 (1). 106–109 pp. (in English)
8. Effect of cold rolling deformation on the microstructure and properties of Ti-10V-2Fe-3Al alloy / Qi L. [et al.] // *Materials Characterization*. 2019. No. 155. 109789 p. (in English)
9. Effect of structural stability on the stress induced martensitic transformation in Ti-10V-2Fe-3Al alloy / Qi L. [et al.] // *Materials Science and Engineering A*. 2019. No. 756. 381–388 pp. (in English)
10. Microstructure design and in-situ investigation of TRIP/TWIP effects in a forged dual-phase Ti-10V-2Fe-3Al alloy / Danard Y. [et al.] // *Materialia*. 2019. No. 8. 100507 p. (in English)
11. A β -titanium alloy with extra high strain-hardening rate: Design and mechanical properties / Brozek C. [et al.] // *Scripta Materialia*. 2016. No. 114. 60–64 pp. (in English)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Banerjee D., Williams J.C. *Titanium ғылымы мен технологиясының перспективалары // Acta Materialia*. 2015. № 61 (3). Б. 844–879 (ағылшын тілінде)
2. *Ti-6Al-4V және Ti-10V-2Fe-3Al титан қорытпаларын аяққы жону өңдеуінде майлау-салқындатқыш сұйықтықты қолдану / Taylor C.M. [және т. б.] // Procedia CIRP*. 2018. № 77. Б. 441–444 (ағылшын тілінде)
3. *Ti-10V-2Fe-3Al қорытпасының созу/бұрмалау деформациялық режимдеріндегі микроструктурасы мен микроқаттылығының эволюциясы / Wang X. [және т. б.] // Journal of Alloys and Compounds*. 2021. № 881. Б. 160484 (ағылшын тілінде)
4. *Қартаюға ұшыраған TRIP Ti-10V-2Fe-3Al (масс.%) қорытпасының жоғары деформация жылдамдықтарындағы механикалық мінез-құлқы / Ellyson B. [және т. б.] // Acta Materialia*. 2023. № 258. Б. 119041 (ағылшын тілінде)
5. *Әуеғарыштық техникаға арналған жоғары берікті титан қорытпалары: балқыту–созу процесстеріне шолу / Zhao Q. [және т. б.] // Materials Science and Engineering A*. 2022. № 845. Б. 143260 (ағылшын тілінде)
6. *Әртүрлі алдын ала деформация деңгейіне ұшыраған метастабильді Ti-10V-2Fe-3Al қорытпасының деформациялық мінез-құлқы: механизмдері мен микроструктуралық бейімделулері / Zhu E. [және т. б.] // Journal of Alloys and Compounds*. 2025. № 1029. Б. 180798 (ағылшын тілінде)
7. *Ti-10V-2Fe-3Al қорытпасының беткі қабатының микроструктурасының еру-шағылысу (solution treatment) нәтижесінде эволюциясы / Qi L. [және т. б.] // Progress in Natural Science: Materials International*. 2020. № 30(1). Б. 106–109 (ағылшын тілінде)
8. *Суықтай илемдеу деформациясының Ti-10V-2Fe-3Al қорытпасының микроструктурасы мен қасиеттеріне әсері / Qi L. [және т. б.] // Materials Characterization*. 2019. № 155. Б. 109789 (ағылшын тілінде)

9. Құрылымдық тұрақтылықтың $Ti-10V-2Fe-3Al$ қорытпасындағы кернеумен индуцирленген мартенситтік түрленуіне әсері / Qi L. [және т. б.] // *Materials Science and Engineering A*. 2019. № 756. Б. 381–388 (ағылшын тілінде)
10. Созылған екі фазалы $Ti-10V-2Fe-3Al$ қорытпасында TRIP/TWIP эффектілерін микроструктуралық жобалау және *in-situ* зерттеу / Danard Y. [және т. б.] // *Materialia*. 2019. № 8. Б. 100507 (ағылшын тілінде)
11. Өте жоғары деформациялық қатайту қабілеті бар β -титан қорытпасы: жобалануы және механикалық қасиеттері / Brozek C. [және т. б.] // *Scripta Materialia*. 2016. № 114. Б. 60–64 (ағылшын тілінде)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Banerjee D., Williams J.C. Перспективы развития науки и технологий титана // *Acta Materialia*. 2015. № 61 (3). С. 844–879 (на английском языке)
2. Применение охлаждающе-смазывающих технологических средств при чистовом точении титановых сплавов $Ti-6Al-4V$ и $Ti-10V-2Fe-3Al$ / Taylor C.M. [и др.] // *Procedia CIRP*. 2018. № 77. С. 441–444 (на английском языке)
3. Эволюция микроструктуры и микротвердости сплава $Ti-10V-2Fe-3Al$ при растяжении и кручении / Wang X. [и др.] // *Journal of Alloys and Compounds*. 2021. № 881. С. 160484 (на английском языке)
4. Деформация сплава TRIP $Ti-10V-2Fe-3Al$ (мас.%) при высоких скоростях деформации после старения / Ellyson B. [и др.] // *Acta Materialia*. 2023. № 258. С. 119041 (на английском языке)
5. Высокопрочные титановые сплавы для авиационно-космической промышленности: обзор процессов плавки иковки / Zhao Q. [и др.] // *Materials Science and Engineering A*. 2022. № 845. С. 143260 (на английском языке)
6. Поведение при деформации метастабильного сплава $Ti-10V-2Fe-3Al$ при различных уровнях предварительной деформации: механизмы и микроструктурные адаптации / Zhu E. [и др.] // *Journal of Alloys and Compounds*. 2025. № 1029. С. 180798 (на английском языке)
7. Эволюция микроструктуры на поверхности сплава $Ti-10V-2Fe-3Al$ при термической обработке растворением / Qi L. [и др.] // *Progress in Natural Science: Materials International*. 2020. № 30 (1). С. 106–109 (на английском языке)
8. Влияние холодной прокатки на микроструктуру и свойства сплава $Ti-10V-2Fe-3Al$ / Qi L. [и др.] // *Materials Characterization*. 2019. № 155. С. 109789 (на английском языке)
9. Влияние структурной стабильности на напряженно-индуцированное мартенситное превращение в сплаве $Ti-10V-2Fe-3Al$ / Qi L. [и др.] // *Materials Science and Engineering A*. 2019. № 756. С. 381–388 (на английском языке)
10. Проектирование микроструктуры и *in-situ* исследование TRIP/TWIP-эффектов в поковке двухфазного сплава $Ti-10V-2Fe-3Al$ / Danard Y. [и др.] // *Materialia*. 2019. № 8. С. 100507 (на английском языке)
11. β -титановый сплав с исключительно высокой скоростью упрочнения: проектирование и механические свойства / Brozek C. [и др.] // *Scripta Materialia*. 2016. № 114. С. 60–64 (на английском языке)

Information about the authors:

Mamutova A.T., President of «Titanium and Magnesium Plant» JSC (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan), a.mamutova@satbayev.university; <https://orcid.org/0009-0004-3189-0816>

Chepushtanova T.A., Ph.D, Professor, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), t.chepushtanova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-6526-0044>

Mishra B., Ph.D, Professor, Director, NSF Center for Resource Recovery & Recycling, Worcester Polytechnic Institute (Worcester, USA), bmishra@wpi.edu; <https://orcid.org/0000-0001-7897-1817>

Авторлар туралы мәліметтер:

Мамутова А.Т., «Өскемен титан-магний комбинаты» АҚ Президенті (Өскемен қ., Қазақстан)

Чепуштанова Т.А., Ph.D, профессор, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Мишра Б., Ph.D, профессор, Вустер политехникалық институтының ресурстарды қалпына келтіру және қайта өңдеу жөніндегі NSF орталығының директоры (Вустер қ., АҚШ)

Сведения об авторах:

Мамутова А.Т., Президент АО «Усть-Каменогорский титано-магний комбинат» (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)

Чепуштанова Т.А., доктор Ph.D, профессор, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Мишра Б., Ph.D, профессор, директор Центра извлечения и переработки ресурсов NSF, Вустерский политехнический институт (г. Вустер, США)

Код МРНТИ 68.29.07

*Д.К. Сунакбаева

Международный казахско-турецкий университет им. Ходжи Ахмеда Ясави
(г. Туркестан, Казахстан)

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ДЕГРАДИРОВАННЫХ ЗЕМЕЛЬ ЮЖНОГО КАЗАХСТАНА

Аннотация. В статье представлен комплексный геоэкологический анализ деградированных земель юга Казахстана (Кызылординская, Жамбылская и Туркестанская области), подвергшихся техногенному и природному воздействию. На основе полевых наблюдений и лабораторных анализов оценены физико-химические, структурные и гидрологические свойства почв, выявлены основные процессы деградации: засоление, эрозия, уплотнение и снижение содержания органического вещества. Проанализирована эффективность методов рекультивации, включая биомелиорацию, механическую и ландшафтную рекультивацию. Показано, что их комплексное применение способствует восстановлению почвенной структуры, водного режима и растительного покрова, формируя научную основу для практических рекомендаций по повышению плодородия и экологической устойчивости земель в аридных и полуаридных условиях южного Казахстана.

Ключевые слова: геоэкология, рекультивация нарушенных земель, горнопромышленные регионы, техногенное воздействие, биорекультивация, почвенное плодородие, экологическая устойчивость, устойчивое развитие.

Оңтүстік Қазақстан өңірінің деградацияланған жерлерін геоэкологиялық тұрғыдан бағалау және рекультивациялау

Андатпа. Мақалада Қазақстанның оңтүстік өңірлеріндегі (Кызылорда, Жамбыл және Туркестан облыстары) техногендік және табиғи әсерге ұшыраған деградацияланған жерлердің кешенді геоэкологиялық талдауы берілген. Далалық бақылаулар мен зертханалық талдаулар негізінде топырақтың физика-химиялық, құрылымдық және гидрологиялық қасиеттері бағаланып, деградацияның негізгі үдерістері – тұздану, эрозия, тығыздалу және органикалық заттар мөлшерінің төмендеуі анықталды. Биомелиорация, механикалық және ландшафттық рекультивацияны қамтитын қалпына келтіру әдістерінің тиімділігі талданды. Бұл тәсілдерді кешенді қолдану топырақ құрылымын, су режимін және өсімдік жамылғысын қалпына келтіруге ықпал етіп, Қазақстанның оңтүстігіндегі аридтік және шөлейт аймақтарда жер құнарлылығы мен экологиялық тұрақтылықты арттыруға арналған практикалық ұсынымдардың ғылыми негізін қалыптастырады.

Түйінді сөздер: геоэкология, бұзылған жерлерді рекультивациялау, тау-кен өндірісі аймақтары, техногендік әсер, биорекультивация, топырақ құнарлылығы, экологиялық тұрақтылық, орнықты даму.

Geocological assessment and reclamation of degraded lands in Southern Kazakhstan

Abstract. The article provides a comprehensive geocological assessment of degraded lands in southern Kazakhstan (Kyzylorda, Zhambyl, and Turkestan regions) affected by anthropogenic and natural factors. Field observations and laboratory analyses were used to evaluate the physicochemical, structural, and hydrological properties of soils and to identify key degradation processes, including salinization, erosion, compaction, and reduced organic matter content. The effectiveness of biomelioration, mechanical, and landscape reclamation methods was assessed. The results show that their integrated application supports the restoration of soil structure, water regime, and vegetation cover, forming a scientific basis for practical recommendations to enhance soil fertility and environmental sustainability in the arid and semi-arid regions of southern Kazakhstan.

Key words: geocology, reclamation of degraded lands, mining regions, technogenic impact, bioreclamation, soil fertility, ecological stability, sustainable development.

Введение

Устойчивое природопользование в аридных и полуаридных районах южного Казахстана остается одной из ключевых задач современного геоэкологического развития. Южный регион, включающий Кызылординскую, Жамбылскую и Туркестанскую области, характеризуется ограниченными земельными ресурсами, высокой природной уязвимостью, засушливым климатом, сложной морфологией рельефа, активными гидрогеологическими процессами и интенсивной антропогенной нагрузкой [1].

Одним из наиболее значимых факторов деградации земель является засоление почв, возникающее в результате использования минерализованных оросительных вод, старых и недостаточно обслуживаемых ирригационных систем, а также подъема соленых грунтовых вод [2]. Наряду с этим наблюдаются процессы водной и ветровой эрозии, снижение плодородия, ухудшение структуры почв и уменьшение содержания органического вещества.

Особо уязвимы следующие типы земель:

- Орошаемые земли Кызылординской и Туркестанской областей, где подвержено деградации около 1,2 млн га территории, с высоким риском вторичного засоления и ухудшения структуры почвы на старых каналах и арыках;
- Пастбища и сенокосные угодья Жамбылской и Туркестанской областей, деградированные из-за перегрузки скота, ветровой эрозии и опустынивания, общая площадь которых составляет примерно 3,5 млн га;

- Выработанные промышленные и карьерные участки, включая отвалы горной породы и хвостохранилища, площадь которых достигает около 0,25 млн га, где верхний плодородный слой почвы полностью утрачен и необходима комплексная рекультивация [3].

Основные почвенные типы южного региона включают солонцы, солончаки, сероземы и легкие черноземы, подверженные эрозии, засолению и деградации структуры. Растительный покров представлен пустынными и полупустынными сообществами, включая солянку, полынь, ковыль и люцерну, которые являются основными компонентами пастбищ и сенокосных земель [4].

Природно-климатические условия южного региона определяют оптимальные методы рекультивации. В условиях сухого климата, сильной ветровой и водной эрозии наиболее эффективны ландшафтные и биомелиоративные технологии: создание террас и защитных полос, посадка местных и адаптированных растений, применение биопрепаратов для улучшения структуры и плодородия почвы. Эти меры способствуют снижению эрозионной активности, ускоряют восстановление растительного покрова и стабилизацию водного режима [5].

Горнодобывающая и промышленная деятельность усиливает деградацию земель, приводя к разрушению верхнего плодородного слоя, изменению гидрологического режима и повышению техногенной нагрузки на экосистемы. В результате многие земли теряют сельскохозяйственную

и природную ценность и становятся непригодными для использования без комплексных мер рекультивации [6].

В этих условиях особенно актуальна разработка геоэкологических методов рекультивации, направленных на восстановление плодородия почв, улучшение их водно-физических и химических свойств, стабилизацию водного режима и возобновление растительного покрова [7]. Практика и нормативные документы показывают, что рекультивация является не только задачей восстановления ландшафта, но и ключевой составляющей устойчивого природопользования и охраны земель южного Казахстана [8].

Цель исследования – комплексное геоэкологическое обоснование методов рекультивации нарушенных земель южного региона Казахстана, подвергшихся техногенным и природным воздействиям, с оценкой современного состояния деградированных территорий и разработкой рекомендаций по восстановлению почвенного плодородия, повышению экологической устойчивости и рациональному природопользованию.

Таким образом, поставленная цель позволяет системно рассмотреть геоэкологические процессы деградации земель южного региона, обосновать научно-методические подходы к их рекультивации и предложить практические рекомендации для эффективного и устойчивого природопользования в условиях засушливого климата, старых ирригационных систем и интенсивной антропогенной нагрузки.

Материалы и методы

Объект исследования. Объектом исследования являются нарушенные и деградированные земли южного региона Казахстана, подвергшиеся техногенному воздействию сельскохозяйственной, промышленной и гидротехнической деятельности, а также природным процессам деградации, включая засоление, вторичное уплотнение почв и эрозию [7].

Основное внимание уделялось следующим типам земель:

- оросительные земли южных областей (Кызылординская, Жамбылская, Туркестанская), где процессы вторичного засоления, накопления минерализованных солей и ухудшения структуры почв проявляются на старых ирригационных системах и арьяках [6];

- пастбища и сенокосные угодья низовий и предгорных зон, подвергшиеся деградации из-за перегрузки скота, ветровой эрозии и частичных опустынивающих процессов [9];

- выработанные участки карьерных и промышленных зон, включая отвалы горной породы и хвостохранилища вблизи промышленных центров региона, где почвы потеряли верхний плодородный слой и подверглись техногенной деградации [10];

- основные типы почв исследуемых территорий включали солонцы, солончаки, сероземы и легкие черноземы, подверженные засолению, эрозии и деградации структуры [11].

- полевые исследования почв: отбор проб из верхнего и подземного горизонтов для анализа физико-химических свойств, содержания органического вещества, солевого режима и показателей водопроницаемости [10].

Методы исследования. Исследование проводилось с использованием комплекса геоэкологических и геоморфологических методов, включающих:

- *полевой мониторинг* – создание сетки точек на деградированных участках для оценки степени засоления, кислотности, плотности и содержания органического вещества [8, 10];

- *лабораторные анализы* – определение химического состава почвы (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}), гидролитической кислотности, содержания гумуса и влажности [8, 9];

- *биомелиоративные эксперименты* – восстановление растительного покрова с использованием местных и адаптированных видов растений (солянки, полынь, люцерна), применение биопрепаратов для улучшения структуры и плодородия почвы [11];

- *сравнительный анализ методов рекультивации* – оценка механической, биорекультивационной и ландшафтной рекультивации по их эффективности в восстановлении почвенного плодородия и экологической устойчивости территории [12].

Методы обработки данных

Для анализа полученных полевых и лабораторных данных применялся комплекс статистических и геоинформационных методов, обеспечивающий оценку состояния деградационных процессов и обоснование мероприятий по рекультивации.

Интеграция полевых и лабораторных данных

Для комплексной оценки состояния деградированных земель применялась система интеграции данных, объединяющая результаты полевых замеров и лабораторных анализов [11]. Данные объединялись в единую базу для анализа взаимосвязей между типом почвы, степенью техногенной и климатической нагрузки, методами рекультивации и восстановлением растительного покрова.

Таким образом, комплекс методов обработки данных обеспечивает научно обоснованное планирование рекультивационных мероприятий в южном регионе Казахстана, позволяет количественно оценить эффективность различных подходов и выявить факторы, влияющие на успешное восстановление нарушенных земель в условиях засушливого климата и высокой техногенной нагрузки.

Результаты и обсуждение

В южном регионе Казахстана, включающем Кызылординскую, Жамбылскую и Туркестанскую области, наблюдаются значительные проявления деградации земель, вызванные комплексным воздействием природных и антропогенных факторов. Основные процессы деградации включают засоление почв, эрозию, уплотнение и снижение содержания органического вещества. Особенности регионального климата, засушливый режим осадков, высокая минерализация вод и интенсивная эксплуатация пастбищ и орошаемых земель способствуют усилению деградационных процессов, что делает необходимым применение дифференцированных методов рекультивации.

Для количественной оценки состояния почв и эффективности рекультивационных мероприятий выполнен комплексный анализ физико-химических, структурных и гидрологических показателей почв, а также степени

деградации земель и результативности различных методов рекультивации. Результаты представлены в виде систематизированных таблиц, включающих данные по ключевым параметрам: содержание гумуса, кислотность, концентрации ионов Na^+ , Ca^{2+} и Mg^{2+} , плотность почвы, водопроницаемость, степень эрозии и засоления, а также эффективность биомелиоративной, механической и ландшафтной рекультивации.

Такой подход позволяет не только выявить характерные закономерности деградации земель в каждом регионе, но и определить оптимальные стратегии восстановления почвенного плодородия и стабилизации экосистем южного Казахстана. На основании полученных данных проведено детальное обсуждение результатов, выделены специфические особенности Кызылординской, Жамбылской и Туркестанской областей, а также обоснована целесообразность комплексного применения биомелиоративных и ландшафтных технологий для повышения экологической устойчивости деградированных территорий.

Анализ физико-химических показателей почв южного региона Казахстана выявил существенные различия по областям и типам земель. В Кызылординской области преобладают солонцы и сероземы с умеренным содержанием гумуса (0,8–1,2%) и слабощелочной реакцией (рН 7,5–8,2), что свидетельствует о склонности почв к вторичному засолению. Повышенное содержание Na^+ (0,3–0,6%) ука-

зывает на локальные очаги минерализации, обусловленные длительным использованием минерализованных орошаемых вод и недостаточным дренажем. В Жамбылской области почвы пастбищ и сенокосов представлены солончаками и легкими черноземами с более низким содержанием гумуса (0,6–1,0%) и умеренной минерализацией, что обусловлено влиянием ветровой эрозии и перегрузкой скота. Туркестанская область характеризуется солонцами и сероземами с умеренным уровнем Na^+ (0,28–0,55%) и низким содержанием гумуса (0,7–1,1%), что указывает на необходимость комплексной рекультивации для восстановления плодородия и структуры почв. Полученные данные демонстрируют, что физико-химические показатели почв отражают высокую уязвимость земель к засолению и деградации структуры, что требует интегрированного подхода к их восстановлению.

Исследование водопроницаемости и структуры почв показало выраженную деградацию верхних горизонтов во всех областях. В Кызылординской области водопроницаемость составила 0,1–0,2 см/ч, что обусловлено уплотнением и засолением почв. Биомелиоративные мероприятия, включающие посадку солянки и полыни, улучшили водный режим и способствовали восстановлению растительного покрова. В Жамбылской области наблюдалось снижение водопроницаемости до 0,12–0,18 см/ч, вызванное разрушением структуры почвы ветровой эрозией

Таблица 1

Физико-химические свойства почв

Кесте 1

Топырақтың физика-химиялық қасиеттері

Table 1

Physicochemical Properties of Soils

Показатель	Кызылординская область	Жамбылская область	Туркестанская область
Типы почв	Солонцы, сероземы	Солончаки, легкие чернозёмы	Солонцы, сероземы
Гумус (%)	0,8–1,2	0,6–1,0	0,7–1,1
рН	7,5–8,2	7,8–8,3	7,6–8,0
Na^+ (%)	0,3–0,6	0,25–0,5	0,28–0,55
Ca^{2+} (%)	1,2–1,8	1,0–1,5	1,1–1,7
Mg^{2+} (%)	0,4–0,7	0,3–0,6	0,35–0,65
Плотность почвы (г/см ³)	1,45–1,55	1,4–1,52	1,46–1,55

Таблица 2

Водопроницаемость и структура почв

Кесте 2

Топырақтың су өткізгіштігі және құрылымы

Table 2

Soil Permeability and Structure

Показатель	Кызылординская область	Жамбылская область	Туркестанская область
Водопроницаемость (см/ч)	0,1–0,2	0,12–0,18	0,08–0,15
Структура почв	Уплотненные горизонты, местами трещиноватые	Разрушенная структура, эрозионные борозды	Сильно уплотненные верхние горизонты
Основной фактор деградации	Засоление, уплотнение	Ветровая эрозия, перегрузка пастбищ	Техногенная деградация, выработка

и перегрузкой пастбищ; применение биорекультивации способствовало увеличению содержания органического вещества и повышению устойчивости растительного покрова. В Туркестанской области на выработанных промышленных участках водопроницаемость достигала минимальных значений 0,08–0,15 см/ч, что отражает высокую техногенную нагрузку и уплотнение. Комбинация ландшафтной и биомелиоративной рекультивации оказалась наиболее эффективной для стабилизации структуры и восстановления водного режима. Данные показатели подтверждают критическую роль деградации структуры почв в снижении водопроницаемости и необходимости комплексной рекультивации.

Степень деградации земель варьирует в зависимости от региона и типа земель. В Кызылординской области засоление орошаемых земель затронуло 40–50% площади, что является доминирующим фактором деградации; эрозийные процессы имеют умеренный характер, однако уплотнение почв препятствует естественной регенерации растительного покрова. В Жамбылской области пастбища и сенокосные угодья подвержены ветровой

эрозии и перегрузке скота (25–30%), при этом засоление выражено слабо, однако локальные очаги деградации могут прогрессировать без мер рекультивации. В Туркестанской области техногенные нарушения на выработанных промышленных участках составляют 10–15%, сопровождаясь изменением рельефа и разрушением верхнего плодородного слоя. Эти данные свидетельствуют о необходимости дифференцированного подхода к рекультивации с учетом преобладающего фактора деградации в каждой области.

Комплексная оценка методов рекультивации показала, что биомелиорация с использованием местных и адаптированных видов растений является наиболее эффективной во всех областях. В Кызылординской области биомелиорация обеспечила увеличение водопроницаемости и улучшение структуры почвы на 15–20%. В Жамбылской области рост органического вещества составил 10–15%, что способствовало восстановлению растительного покрова. В Туркестанской области восстановление растительности достигло 20–25% площади выработанных участков. Механическая рекультивация,

Степень деградации земель

Жерлердің деградация дәрежесі

Degree of Land Degradation

Таблица 3

Кесте 3

Table 3

Параметр	Кызылординская область	Жамбылская область	Туркестанская область
Доля деградированных орошаемых земель, %	40–50	10–15	35–40
Доля деградированных пастбищ, %	15–20	25–30	20–25
Доля выработанных промышленных участков, %	5–10	2–5	10–15
Засоление	Среднее, локальное	Низкое, локальное	Среднее, локальное
Эрозия	Умеренная	Высокая ветровая	Умеренная водная и техногенная

Таблица 4

Эффективность методов рекультивации

Рекультивация әдістерінің тиімділігі

Effectiveness of Reclamation Methods

Кесте 4

Table 4

Метод рекультивации	Кызылординская область	Жамбылская область	Туркестанская область
Биомелиорация (солянка, польнь, люцерна, биопрепараты)	+15-20% улучшение структуры и водопроницаемости	+10-15% увеличение органического вещества	+20-25% восстановление растительного покрова
Механическая рекультивация	Умеренная, краткосрочный эффект	Низкая без озеленения	Низкая без ландшафтной поддержки
Ландшафтная рекультивация (террасы, защитные полосы)	Высокая	Умеренная	Высокая при комбинировании с биомелиорацией

в отсутствие последующего озеленения или биомелиоративных мероприятий, оказалась менее эффективной и дала краткосрочный эффект. Ландшафтная рекультивация проявила наибольшую эффективность при интеграции с биомелиоративными методами, что особенно важно для стабилизации эрозионных процессов и восстановления водного режима на выработанных и орошаемых землях. Данные результаты подтверждают необходимость комплексного подхода, включающего механические, биологические и ландшафтные методы, для успешного восстановления деградированных земель южного региона Казахстана.

Комплексный геоэкологический подход к рекультивации нарушенных земель включает последовательные этапы – от оценки состояния почв и выбора соответствующих методов рекультивации до реализации механической стабилизации, биорекультивации и ландшафтных технологий. Итогом является восстановление почвенного плодородия и возобновление растительного покрова, что обеспечивает устойчивое функционирование экосистемы (рис. 1).

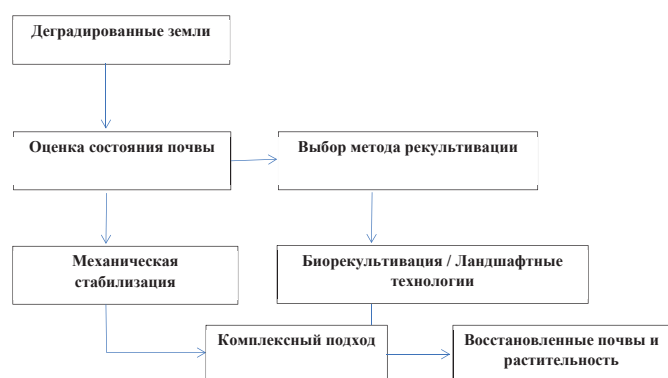


Рис. 1. Этапы комплексного геоэкологического подхода к рекультивации нарушенных земель Казахстана.

Сурет 1. Қазақстандағы бұзылған жерлерді рекультивациялаудың кешенді геоэкологиялық тәсілінің кезеңдері.

Figure 1. Stages of the comprehensive geoeological approach to the reclamation of disturbed lands in Kazakhstan.

Результаты исследования демонстрируют, что применение комплексного геоэкологического подхода к рекультивации нарушенных земель существенно повышает эффективность восстановления деградированных территорий. Интеграция механических методов стабилизации рельефа, биорекультивации с использованием местных и адаптированных видов растений, а также ландшафтно-агримелиоративных технологий способствует улучшению физико-химических свойств почв, восстановлению растительного покрова, снижению эрозионной активности и стабилизации водного режима. Такой комплексный подход обеспечивает долгосрочную экологическую устойчивость территорий, умень-

шает негативное воздействие антропогенных факторов и способствует сохранению биоразнообразия. Полученные результаты могут служить научной основой для разработки стратегий устойчивого природопользования и планирования природоохранной политики на региональном и национальном уровнях.

Заключение

В результате проведенного исследования оценено современное состояние деградированных земель южного региона Казахстана, включая Кызылординскую, Жамбылскую и Туркестанскую области, с учетом природных и техногенных факторов воздействия. Анализ физико-химических, структурных и гидрологических показателей почв выявил высокий уровень деградации: засоление, эрозию, уплотнение и снижение содержания органического вещества, что существенно снижает их продуктивность и устойчивость экосистем.

Полевые наблюдения, лабораторные анализы и геоинформационное моделирование позволили выявить специфические особенности каждого региона: в Кызылординской области доминирует засоление орошаемых земель; в Жамбылской – ветровая эрозия и перегрузка пастбищ; в Туркестанской – техногенные нарушения на выработанных промышленных и карьерных участках. Эти результаты демонстрируют необходимость дифференцированного подхода к рекультивации с учетом преобладающих факторов деградации.

Эффективность рекультивационных мероприятий была подтверждена сравнительным анализом методов: биомелиорация с использованием местных и адаптированных видов растений оказалась наиболее результативной, обеспечивая восстановление структуры почв, повышение водопроницаемости и возобновление растительного покрова. Ландшафтная рекультивация проявила высокую эффективность при интеграции с биомелиоративными и механическими методами, особенно на выработанных и орошаемых землях.

Комплексный геоэкологический подход к рекультивации нарушенных земель, включающий оценку состояния почв, выбор и комбинирование методов рекультивации, позволяет не только улучшить физико-химические и гидрологические свойства почв, но и обеспечить долгосрочную экологическую устойчивость территорий, снизить воздействие антропогенных факторов и способствовать сохранению биоразнообразия.

Полученные результаты создают научную основу для разработки практических рекомендаций по планированию природоохранных мероприятий, восстановлению деградированных земель и стратегий устойчивого природопользования в аридных и полуаридных районах южного Казахстана. Внедрение предложенных мер рекультивации позволит повысить продуктивность земель, стабилизировать экосистемы и улучшить качество среды обитания, что имеет важное значение для социально-экономического и экологического развития региона.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Засоленные и заболоченные (переувлажненные) почвы Казахстана и пути их улучшения / Куришбаев А. [и др.] // *Izdenister Natigeler*. 2024. № 1 (101). С. 103–112 (на русском языке)
2. Эколого-мелиоративное состояние засоленных земель предгорной равнины Алматинской области и проблемы деградации их химического состава при трансформации сельскохозяйственных угодий / Оспанова К. [и др.] // *Izdenister Natigeler*. 2025. № 3 (107). С. 472–479 (на русском языке)
3. Современное мелиоративное состояние орошаемых почв и методика их изучения на примере СПК «Азия Агро Групп» / Сманов Ж.М. [и др.] // *Почвоведение и агрохимия*. 2023. № 1. С. 15–35 (на русском языке)
4. Органическое удобрение повышает рост риса на сильно засоленных и щелочных почвах за счет увеличения бактериального разнообразия почвы / Чжэнкун Ч. [и др.] // *Soil Use and Management*. 2022. Т. 38. № 1. С. 964–977 (на английском языке)
5. Новые тенденции в пиролизе биоугля и стратегиях его модификации: исходное сырье, условия пиролиза, вопросы устойчивого развития и последствия для использования в качестве почвенного мелиоранта / Ван Л. [и др.] // *Soil Use and Management*. 2020. Т. 36. № 3. С. 358–386 (на английском языке)
6. Влияние степени засоленности почв и биопрепарата на продуктивность кукурузы на орошаемом массиве Шаулдер / Пошанов М.Н. [и др.] // *OnLine Journal of Biological Sciences*. 2022. Т. 22. № 1. С. 58–67 (на английском языке)
7. Цешковская Е.А. Геоэкологические аспекты реабилитации нарушенных горнодобывающей промышленностью земель (на примере Карагандинской области Республики Казахстан): дисс. ... на соискание ученой степени канд. геогр. наук: Калининград, 2023. 182 с. (на русском языке)
8. Абдирахымов Н.А., Калдыбаев С., Мамбетова Л.М. Оценка деградированных пастбищ бурых почв полупустынной зоны Казахстана // *Почвоведение и агрохимия*. 2020. № 4. С. 36–48 (на казахском языке)
9. Влияние степени засоления почв и применения биопрепарата на продуктивность кукурузы / Пошанов М.Н. [и др.] // *Почвоведение и агрохимия*. 2021. № 1. С. 44–56 (на русском языке)
10. Сводный аналитический отчет о состоянии и использовании земель Республики Казахстан: Комитет МСХ РК по управлению земельными ресурсами, Астана, 2017, 180 с. (на русском языке)
11. Чекалин С.Г., Зимхан Б.А. Способы восстановления плодородия почвы на нарушенных землях // *Известия ОГАУ*. 2019. № 2 (76). С. 11–16. (на русском языке)
12. Полуэктов Е.В., Сухомлинова Н.Б. Анализ эффективности почвозащитных приемов и мероприятий по их стокорегулирующей способности // *Мелиорация и гидротехника*. 2022. Т. 12. № 1. С. 99–118 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Қазақстанның тұзданған және батпақтанған (шамадан тыс ылғалданған) топырақтары және оларды жақсарту жолдары / Куришбаев А. [және т. б.] // *Izdenister Natigeler*. 2024. № 1 (101). Б. 103–112 (орыс тілінде)
2. Оспанова К., Омарбекова А., Наушабаев А., Рсымбетов Б., Серикбаева Г. Алматы облысының тау етегіндегі жазық аймақтағы тұзданған жерлердің экологиялық-мелиоративтік жай-күйі және ауыл шаруашылығы алқаптарын трансформациялау кезінде олардың химиялық құрамының деградациясы мәселелері / Оспанова К. [және т. б.] // *Izdenister Natigeler*. 2025. № 3 (107). Б. 472–479 (орыс тілінде)
3. «Азия Агро Групп» ӨК мысалында суармалы топырақтардың қазіргі мелиоративтік жағдайы және оларды зерттеу әдістемесі / Сманов Ж.М. [және т. б.] // *Топырақтану және агрохимия*. 2023. № 1. Б. 15–35 (орыс тілінде)
4. Органикалық тыңайтқыштың күшті тұзданған-сілтілі топырақта күріштің өсуін топырақтағы бактериялық әртүрлілікті арттыру арқылы жақсартуы / Чжэнкун Ч. [және т. б.] // *Soil Use and Management*. 2022. Т. 38 (1). Б. 964–977 (ағылшын тілінде)
5. Биокөмір пиролизі мен модификациясының жаңа үрдістері: шикізат, пиролиз шарттары, тұрақтылық мәселелері және топырақ мелиорациясындағы маңызы / Ван Л. [және т. б.] // *Soil Use and Management*. 2020. № 36 (3). Б. 358–386 (ағылшын тілінде)
6. Шәуілдір суармалы алқабында топырақтың тұздану дәрежесі мен биопрепараттың жүгері өнімділігіне әсері / Пошанов М.Н. [және т. б.] // *OnLine Journal of Biological Sciences*. 2022. № 22 (1). Б. 58–67 (ағылшын тілінде)
7. Цешковская Е.А. Тау-кен өнеркәсібі бұзған жерлерді қалпына келтірудің геоэкологиялық аспектілері (Қазақстан Республикасының Қарағанды облысы мысалында): геогр. ғылым. канд. ғылыми дәрежесін алу үшін жазылған диссертация: Калининград, 2023. 182 б. (орыс тілінде)
8. Абдирахымов Н.А., Калдыбаев С., Мамбетова Л.М. Қазақстанның шөлейт аймағындағы қоңыр топырақты деградацияға ұшыраған жайылымдарды бағалау // *Топырақтану және агрохимия*. 2020. № 4. Б. 36–48 (қазақ тілінде)

9. Топырақтың тұздану дәрежесі мен биопрепарат қолданудың жүгері өнімділігіне әсері / Пошанов М.Н. [және т. б.] // Топырақтану және агрохимия. 2021. № 1. Б. 44–56 (орыс тілінде)
10. Қазақстан Республикасының жер ресурстарын басқару жөніндегі АШМ комитеті: Қазақстан Республикасындағы жерлердің жай-күйі мен пайдаланылуы туралы жиынтық аналитикалық есеп, Астана, 2017. 180 б. (орыс тілінде)
11. Чекалин С.Г., Зимхан Б.А. Бүлінген жерлерде топырақ құнарлылығын қалпына келтіру әдістері // ОГАУ хабаршысы. 2019. № 2 (76). Б. 11–16 (орыс тілінде)
12. Полуэктов Е.В., Сухомлинова Н.Б. Топырақты қорғау тәсілдері мен іс-шараларының ағынды реттеу тиімділігін талдау // Мелиорация және гидротехника. 2022. Т. 12. № 1. Б. 99–118 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Zsolennyye i zabolochennyye (pereuvlazhnennyye) pochvy Kazakhstana i puti ikh uluchsheniya [Saline and waterlogged (over-moistened) soils of Kazakhstan and ways of their improvement], Kurishbayev A. [et al.], Izdenister Natigeler [Izdenister Natigeler]. 2024. No. 1 (101). 103–112 pp. (in Russian)
2. Ekologo-meliorativnoe sostoyanie zasolennykh zemel' predgornoi ravniny Almatinskoi oblasti i problemy degradatsii ikh khimicheskogo sostava pri transformatsii sel'skokhozyaistvennykh ugodii [Ecological and reclamation status of saline lands of the piedmont plain of Almaty region and problems of chemical composition degradation during transformation of agricultural lands], Ospanova K. [et al.], Izdenister Natigeler [Izdenister Natigeler]. 2025. No. 3 (107). 472–479 pp. (in Russian)
3. Sovremennoe meliorativnoe sostoyanie oroshaemykh pochv i metodika ikh izucheniya na primere SPK «Aziya Agro Grupp» [Current reclamation status of irrigated soils and methods of their study on the example of the APC «Asia Agro Group»], Smanov Zh.M. [et al.], Pochvovedenie i agrokhimiya [Soil Science and Agrochemistry]. 2023. No. 1. 15–35 pp. (in Russian)
4. Organic fertilizer enhances rice growth in severe saline-alkali soil by increasing soil bacterial diversity / Zhengkun Z. [et al.] // Soil Use and Management. 2022. V. 38 (1). 964–977 pp. (in English)
5. New trends in biochar pyrolysis and modification strategies: feedstock, pyrolysis conditions, sustainability concerns and implications for soil amendment / Wang L. [et al.] // Soil Use and Management. 2020. V. 36 (3). 358–386 pp. (in English)
6. The effects of the degree of soil salinity and bio-preparation on maize productivity in the Shoulder irrigated massif / Poshanov M.N. [et al.] // OnLine Journal of Biological Sciences. 2022. V. 22 (1). 58–67 pp. (in English)
7. Tsheshkovskaya E.A. Geoekologicheskie aspekty reabilitatsii narushennykh gornodobyvayushchei promyshlennost'yu zemel' (na primere Karagandinskoi oblasti Respubliki Kazakhstan) [Geo-ecological aspects of rehabilitation of lands disturbed by mining industry (case study of Karaganda region, Republic of Kazakhstan)], diss. ... na soiskanie uchenoi stepeni kand. geogr. nauk [Ph.D dissertation (Geographical Sciences)]. Kaliningrad, 2023. 182 p. (in Russian)
8. Abdirakhymov N.A., Kaldybayev S., Mambetova L.M. Assessment of degraded pastures of brown soils in the semi-desert zone of Kazakhstan // Soil Science and Agrochemistry. 2020. No. 4. 36–48 pp. (in Kazakh)
9. Vliyanie stepeni zasoleniya pochv i primeneniya biopreparata na produktivnost' kukuruzy [Influence of soil salinity degree and application of bio-preparation on maize productivity], Poshanov M.N. [et al.], Pochvovedenie i agrokhimiya [Soil Science and Agrochemistry]. 2021. No. 1. 44–56 pp. (in Russian)
10. Svodnyi analiticheskii otchet o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' Respubliki Kazakhstan: Komitet MSKh RK po upravleniyu zemel'nymi resursami [Committee for Land Resources Management of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan: Consolidated analytical report on the state and use of lands of the Republic of Kazakhstan], Astana, 2017, 180 p. (in Russian)
11. Chekalin S.G., Zimkhan B.A. Sposoby vosstanovleniya plodorodiya pochvy na narushennykh zemlyakh [Methods for restoring soil fertility on disturbed lands], Izvestiya OGAU [Bulletin of Orenburg State Agrarian University]. 2019. No. 2 (76). 11–16 pp. (in Russian)
12. Poluektov E.V., Sukhomlinova N.B. Analiz effektivnosti pochvozashchitnykh priemov i meropriyatii po ikh stokoreguliruyushchei sposobnosti [Analysis of the effectiveness of soil-protection practices and measures in terms of their runoff-regulating capacity], Melioratsiya i gidrotekhnika [Reclamation and Hydraulic Engineering]. 2022. V. 12. No. 1. 99–118 pp. (in Russian)

Сведения об авторах:

Сунакбаева Д.К., к.т.н., Международный казахско-турецкий университет им. Ходжи Ахмеда Ясави (г. Туркестан, Казахстан), dilana.sunakbayeva@ayu.edu.kz; <https://orcid.org/0009-0006-3727-4891>

Авторлар туралы мәліметтер:

Сунакбаева Д.К., т.ғ.к., Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті (Түркістан қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Sunakbaeva D.K., candidate of technical sciences, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University (Turkestan, Kazakhstan)

Код МРНТИ 87.53.13

Л.М. Оралбекова¹, *Г.Д. Кенжалиева¹, Е.Н. Кочеров¹, А.Д. Байботаева²¹М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті (Шымкент қ., Қазақстан),²Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті (Алматы қ., Қазақстан)

ҚОРШАҒАН ОРТАҒА ТИГІЗЕТІН ӘСЕРІН АНЫҚТАУ ҮШІН ҚАЛДЫҚТАРДЫҢ ҚҰРАМЫН ЗЕРТТЕУ

Аннотация. Ұсынылып отырған мақала шолу болып табылады. Мақалада өндіріс, қайта өңдеу және тұтыну қалдықтарын, сондай-ақ профилактикалық қалдықтарды басқару саласындағы шетелдік және отандық тәжірибе «Жасыл Қазақстан» жобасын іске асыру контекстінде қарастырылған. Қалдықтардың морфологиялық құрамын зерттеу бойынша ғылыми және практикалық еңбектер талданған, қалдықтарды қайта өңдеу мен кәдеге жарату тәсілдері ұсынылған, бұл өз кезегінде қалдықтардың көлемін азайту шаралары болып табылады. Мақалада алынған нәтижелер әртүрлі қалдықтардан қоршаған ортаға түсетін антропогендік жүктемені төмендетуге мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: қалдық, құрам, морфология, антропогендік жүктеме, қауіп, зерттеу, нәтижелер.

Studying the composition of waste to determine its environmental impact

Abstract. Review article. The article examines foreign and domestic experience in the field of waste management of production, processing, consumption, as well as medical and preventive waste, in the context of the implementation of the Green Kazakhstan project. The analysis of scientific and practical work in the field of studying the morphological composition of the remains of fog and other institutions is carried out, the results of the conducted research are presented as measures to reduce waste, their processing and use as needed. The results obtained in the article make it possible to reduce the anthropogenic load on the environment from various wastes.

Key words: waste, composition, morphology, anthropogenic load, load, risk, research, results.

Исследование состава отходов для определения их воздействия на окружающую среду

Аннотация. Статья обзорная. В статье рассматривается зарубежный и отечественный опыт в области управления отходами производства, переработки, потребления, а также профилактическими отходами, в контексте реализации проекта «Зеленый Казахстан». Проанализированы научные и практические работы в области изучения морфологического состава отходов, предложены способы их переработки и утилизации как меры по минимизации отходов. Полученные в статье результаты позволяют снизить антропогенную нагрузку на окружающую среду от различных отходов.

Ключевые слова: отходы, состав, морфология, антропогенная нагрузка, риск, исследования, результаты.

Кіріспе

Қазақстан Республикасы экологиялық мәселелерге үлкен көңіл бөледі. Оның дәлелі – республикамыздың әлемге әйгілі ірі Семей ядролық сынақ полигонын жабуы, Аралды сақтау және Каспий теңізін қорғау жөніндегі бағдарламаларды халықаралық деңгейде ынталандыру, сондай-ақ, техногендік апаттардың зиянды әсерінен қоршаған ортаны қорғаудағы көп жылғы еңбегі. Бүгінгі экономикалық көрсеткіштерді жақсартуға тырысып, ертеңгі күні келтірілген залалды жоюға он, тіпті жүз есе көп ақша жұмсаймыз.

Республика президентінің «...Халықаралық стандарттарға сәйкес қоршаған ортаны қорғау және экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету...» деген сөзі Қазақстан Республикасының экологиялық саясатын әзірлеуге негіз болды. Әлемдік қаржылық дағдарысты ескере отырып, экологиялық стандарттар мен экологиялық қауіпсіздікті сақтау үшін Қазақстан Республикасы 2007–2030 жылдарға арналған тұжырымдамаға сәйкес тұрақты дамуға көшуде. Осы бағдарлама аясында күрделі экологиялық мәселе, өндірістік, тұрмыстық қалдықтар, соның ішінде емдеу-профилактикалық қалдықтарды басқару мәселесін шешу жолдары қарастырылуда.

Маңызды шындық болып табылатыны, денсаулық сақтау жүйесіндегі түзілетін қалдықтардың 70–85% қауіпті қалдықтар тобына жатқызылмайды немесе «қарапайым» тұрмыстық қалдықтар қатарына жататын медициналық қалдықтар ретінде қарастырылады. Қалған 15–30% үлесі қауіпті қалдықтар ретінде қарастырылады және де олар адам денсаулығына төнетін түрлі қауіптердің себепкері бола алады [1, 2].

Жұмыстың мақсаты. Қалдықтардың құрамы зерделеп, анықтау арқылы олардың адам денсаулығы мен қор-

шаған ортаға қауіптілік дәрежесі бойынша қалдықтарды азайту шараларын әсірлеу.

Зерттеу әдістемесі

Стандартты әдістер қалдықтардың сипаттамалары мен морфологиялық құрамын анықтау үшін қолданылады, ал рентгендік флуоресцентті талдау және инфрақызыл спектроскопиялық талдау олардың физика-химиялық және морфологиялық қасиеттерін анықтау үшін қолданылады.

Нәтижелер

Бастапқы материалдардың сипаттамалары мен морфологиялық құрамын анықтау үшін стандартты әдістер қолданылады, ал олардың физика-химиялық және морфологиялық қасиеттерін анықтау үшін рентген-флуоресцентті талдау және инфрақызыл спектроскопиялық, яғни рентгендік-флуоресцентті талдау қолданылады.

Қалдықтар – қоршаған ортаны ластайтын көздердің бірі. Жыл сайын әлемдегі өндірістерден шамамен 1 миллиард тұрмыстық қалдықтарға жататын емдеу-профилактикалық 14 миллион тонна қалдық шығарылады. Бұл көлемі мен зияндылығы жөнінен өте күрделі. Ал әрбір отбасыдан бір адам тәулігіне 1,5 килограмм қоқыс шығарады. Олар желмен, сумен ауаға топыраққа тарап, қоршаған ортаға зиян келтіреді. Тіпті тұрмыстық қалдықтардың көл мен өзендерге шығарылатыны белгілі. Мәселен пластикалық заттар мен пластмасса бұйымдарын өртеген жағдайда ауаға зиянды көміртек оксидтері бөлінеді. Мұндай заттардың жойылуы да ұзақ.

Зиянды қалдықтардың шектен тыс мөлшері бүкіл адамзатқа, қоршаған ортаға зиянын тигізеді. Жер бетіндегі зиянды заттардың жинақталған массасы топырақ жамылғысына, өсімдіктерге, жерүсті және жер асты су-

ларына жағымсыз әсерін тигізеді. Қоқыстар жанған кезде атмосфераға өте көп улы заттар бөлініп, тыныс жүйесі аурулары мен репродуктивті және иммундық жүйелердің ауытқуларына әкеліп соғуы мүмкін. Аса қауіп төндіретін органикалық заттар – *диоксидер*. Олардың әсері цианисті калийден, стрихниннен және курареден күшті абсолютті у болып есептеледі. Тағы бір үлкен қауіп тудыратын қатерлі зат – *филтрат*, ол қоқыс алаңдары аумағынан жерасты суларына түседі. Қалдықтарда дизентерия, холера, туберкулез және т. б. ауруларды тудыратын бактериялар ұзақ уақыт бойы сақталады. Филтраттардың жерасты суларына өтуі, осы микроорганизмдердің кең таралуына әкеліп соғуы мүмкін.

Сол себепті тұрмыстық қалдықтардың тиісті орындарға жеткізіліп, ашықтан-ашық шашылып жатпауына өз үлесімізді қосып және адамзатқа қажетті табиғи қалыптасқан тіршілік ортаны таза сақтауға; өз үлесімізді қосайық. Адамзатқа қажетті табиғи тарихи қалыптасқан тіршілік ортаны таза сақтау ұлттық міндетіміз деп білеміз.

Қазақстанның «Жасыл Қазақстан» жобасына көшуін ескере отырып, еліміздің барлық аймақтарында қалдықтарды бөлек жинау бойынша іс-шаралар қолға алынған. 2021 жылдан бастап халықтан құрамында сынап бар энергия үнемдегіш шамдарды жинау және одан әрі пайдаға асыру бойынша жоба жүзеге асырылып жатыр. Астана айналысындағы қоқысты азайту мақсатында Ақмола облысында ауылшаруашылық және қатты тұрмыстық қалдықтарды қайта өңдейтін зауыт салынады. Зауыттың негізгі қызметі – түрлі қалдықтарды қайта өңдеу. Аталған жоба қазақ-герман кәсіпорны ECONEP-тің қолдауымен шетелдік инвестор арқылы жүзеге асырылып жатыр. 2017 жылдан бастап Қазақстанда қоқысты сұрыптап жинау қолға алынады. 2019 жылдан бастап қайта өндіруге сұрыпталмаған қоқысты көмуге тыйым салынады.

Дамыған елдердің көбінде тапталып жерде жатқан тұрмыс қалдықтары әжептәуір табыс көзі. Бұл бизнес әрі әлеуметтік жауапты іс. Қоқысты қайта өңдеуден түскен ақша қалта мен қоршаған ортаға бірдей пайда әкеледі. Көршілес Қытайда қоқыс сұрыптау, қайта өңдеу үлкен бизнес саласына айналған. Аспан асты елінің Бейжің іс-петті ірі қалаларында қоқысты түрлі әдіспен сұрыптайды, заманауи технологиялар мен адам күші қатар қолданылады. Қоқыс жинаушыларға төлемақы күнбе-күн төленгендіктен, қолма-қол ақшаға мұқтаж жұмысшылар бұл іске үйір. Бір Шанхайдың өзінде мыңдаған қоқыс қабылдау орындарында 2,5 миллионнан астам жұмысшы еңбек етеді [3, 4].

Өмір сүрудің өзіне жер таппай отырған жапондықтар қоқысты іріктеу, реттеу жұмыстарына аса үлкен жауапкершілікпен қарайды. Токио мен ірі қалаларда қоқыс контейнерлері қағаз, пластик, әйнек, темір, жанғыш, жанбайтын, қайта өндірілетін деп іріктеледі. Әр қалдықтың өзіне тиесілі түсті пакеттері болады. Мәселен көк пакетте қағаз қалдықтары болса, жасыл түсті пакетте пластик болады, егер қоқыстарды шатастырып, әлде аралас тасталса, сол үшін «шатасқан» тұрғын қомақты айыппұл төлейді. Супермаркеттерде пакеттердің шамадан тыс қолдануын шектеу мақсатында пакеттер берілмейді. Қоқысты жинау қызметі бір күнді тек бір қоқыс түріне арнайды.

Түркия астанасы, жалпы қалалары тазалығымен тамсантады. Түрік қоқыс тазалаушысы – беделді әрі жалақысы жоғары мамандық. Қоқыс тазалаушы орта буынды банк менеджеріне қарағанда жақсы табыс табады. Тазалыққа жауапты қызметкерлер үшін әлеуметтік қолдау жолға қойылған: медициналық сақтандыру, жоғары зейнетақы, қолжетімді баспана алуға мүмкіндіктері зор. Еуропаның кейбір мемлекеттерінде қалдықтарды екі санатқа бөліп қарастырады: инфекцияланған және басқа инфекцияланбаған компоненттерге, оларды аластату жалпы қалалық қалдық арнасы бойынша жүзеге асырылады. Инфекцияланған түрі екі қабатталған контейнерлерде, қатаң бақылауда тасымалданады және 48 сағаттан аспайтын уақыт ішінде жағылады. Инфекцияланған қалдықтар барлық емдеу мекемелері қалдықтарының жартысын құрайды, соған қарамастан 75% жуық ауруханалар қалдықтарды өздерінің территориясында өртейді. Стационарлардың инфекцияланбаған қалдықтары жергілікті қоқыс жинаумен айналысатын жекелеген фирмалардың контейнерлеріне немесе қоқыс жағатын зауыттарға келіп түседі.

Қауіпті қалдықтарды жағуға арналған қондырғыларды таңдау кезінде, жанудың аталған дәрежесін қамтамасыз ететін қабілетін анықтау керек, ол ары қарайғы ауру жұқтыру қауіпін толық жоюды қамтамасыз етер еді [5]. Тұрмыстық қатты қалдықтар санатына жатпайтын басқа ауруханалық қалдықтарды сәтті аластату үшін сұрыптау жүйесін жасау қажет.

Қазіргі уақытта елімізде және шет елдерде қалдықтардың түзілу көлемін бағалау және олардың құрамын талдау мәселесі кеңінен зерттелуде [6]. Мысалы, Германия мен Австрияда соңғы жылдары тұрмыстық қалдықтар қатарына жататын емдеу мекемелері қалдықтарының көлемі 4 есе артқан, ал түзілген қалдықтардың массасы 2 есеге арта отырып. Астана қаласында жыл сайын 60 жуық емдеу профилактикалық мекемелерінен түзілетін қалдықтар көлемі 8000 м³ немесе 2200 т, оның ішінде 550 т қауіпті қалдықтар. Елордамыздағы түзілетін қалдықтар көлемі 2030 жылға қарай 20000 м³, яғни 5000 т жетуі мүмкін.

Ресейде өткен ғасырда ауруханаларда түзілетін қатты қалдықтар мөлшері 180–200 кг/жыл жеткен [7]. Қазіргі уақытта қалдықтар көлемінің артуы туралы жарияланымдарға сәйкес тәулігіне 3–5 кг, жылына 900–2000 кг қалдық түзілуде. Бүгінгі таңда дамыған елдердегі жылына түзілетін қауіпті қалдықтар көлемі 6–8 кг/адам. Жалпы ішкі өнімі төмен елдердің көпшілігінде денсаулық сақтау қалдықтары қауіпті немесе қауіпсіз болып санатталмайды. Мұндай елдерде бір адамға жыл сайын түзілетін қалдық көлемі 0,5–3 кг дейін жетеді.

1993 жылдың 20 желтоқсанындағы Еуропалық Кеңестің шешімімен (№94/3 – ЕС) бекітілген Еуропалық қалдықтар каталогына сәйкес 18.00 – тобы денсаулық сақтау және ветеринарлық қызметтер мен зерттеулерден шыққан қалдықтар жатқызылған [8, 9].

Жоғарыда ұсынылған мәліметтер қалдықтардың қоршаған ортаға және адамзаттың денсаулығына санитарлық-токсикологиялық ықпалын, морфологиялық құрамдарын мұқият және егжей-тегжейлі зерттеудің, сонымен қатар оларды бағалаудың басым индикаторларын анықтаудың қажеттілігін көрсетеді. Емдеу-профилактикалық мекеме-

лері өздерінің саласына қарамастан, іс-әрекеті нәтижесінде фракциялық құрамы және экологиялық қауіптілік дәрежелері бойынша түрлі қалдықтар тобын түзеді.

Емдеу-профилактикалық мекемелерінің қалдықтарымен заманауи шарттарда жұмыс жасау мәселесі, халық қауіпсіздігінің маңызды гигиеналық, эпидемиологиялық және экологиялық компоненті болып табылады. Бүгінгі таңда қалдықтар көлемінің үннен-күнге артуы – күнделікті өмірімізде, зерттеулерде жаңа әдістердің белсенді түрде енгізумен, бір реттік құралдардың кеңінен қолданылуымен анықталады. Мысалы, соңғы жылдары Германия мен Австриядағы емдеу қалдықтар көлемі 4 есе артқан, ал түзілген қалдықтардың массасы 2 есеге өсіп, тәулігіне адам басына шаққанда 6–9 кг көлемді құраған [10].

Едеу-профилактикалық қалдықтар қатты тұрмыстық қалдықтардың жалпы көлемінің 2% құрайды. Бүгінгі таңда еліміздегі жыл сайын түзілетін емдеу қалдықтарының көлемі 300 мың тонна және де оның көлемі қарқынды түрде өсу барысында тұрақты тенденцияға ие. Бұл қалдықтарды қатардағы тұрмыстық қалдықтарға жатқыза алмаймыз, себебі олардың ауру тарату бойынша жұқпалылығы қалалық қатты тұрмыстық қалдықтар көрсеткішінен 1000 есе жоғары. Емдеу-профилактикалық мекемелерінің қалдықтарымен жұмыс жасау жүйесін құру кезінде, олардың морфологиялық құрамы үлкен мәнге ие. Морфологиялық құрамы мен қалдықтардың патогенді микрофлорамен, уытты және радиобелсенді заттармен ластануы негізінде жіктеледі де. Бір реттік емдеу құралдарының күнделікті қолданылуы, олардың көлемінің және олардың морфологиялық құрамының артуына алып келді. Бұл өзгерістер өз кезегінде қолданыстағы санитарлық ережелерді реттеу кезінде әлі күнге дейін өз орнын алған жоқ.

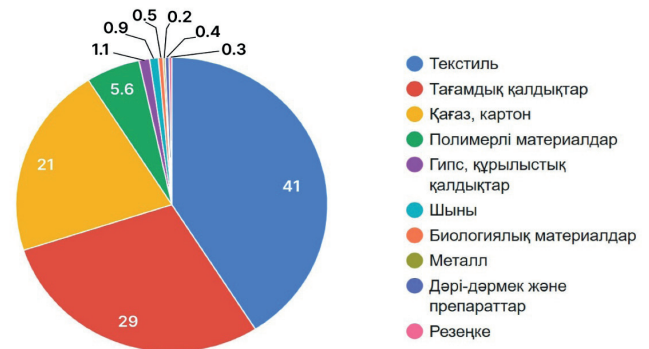
Жоғарыда аталған өзекті мәселелердің бір бөлігін шешу мақсатында емдеу-профилактикалық мекемелері қалдықтарының морфологиялық құрамын зерттеу мақсаты бүгінгі күнгі өзекті мәселеге айналып отыр. Емдеу қалдықтары тұрғындар арасында инфекциялық және инфекциялық емес аурулардың туындау қауіпіне тек ғана тікелей емес, сонымен қатар жанама факторы ретінде қарастырылуы тиіс. Себебі, ол іс жүзінде қоршаған ортаның барлық элементтерін – ауаны, суды, топырақты, мекемеішілік ортаны залалдау мүмкіндігіне ие. Бұл көп жағдайда олардың морфологиялық құрамымен айқындалады.

Әдебиет көздерін талдау нәтижелері негізінде, емдеу-профилактикалық қалдықтардың морфологиялық құрамы жеткілікті дәрежеде алуан түрлі екені көрсетілді [11]. Ол келесідей құраушы бөліктерден тұрады: текстиль, резеңке, пластика, шыны, металл, қағаз, гипс, мүшелер, терілер, биологиялық сұйықтықтар және т. б.

Нәтижелерді талдау

Жүргізілген зерттеулер нәтижелеріне сәйкес, көпсалалы стационар қалдықтарының жуықтамалы морфологиялық және құрылымдық құрамы 1 суретте келтірілген. Алынған мәліметтер, жалпы қалдықтар көлемінің жартысына жуығын тағамдық және әкімшілік-шаруашылық бөлмелердің қалдықтары (қағаз, картон) құрайтынын

дәлелдейді. Текстиль қалдықтарымен қоса алғандағы, үш қалдық түрінің жиынтығы жалпы емдеу-профилактикалық мекемелері қалдықтарының 90% құрайды. Мұнан бөлек, медициналық қалдықтардың жалпы құрылымының 5% және одан жоғары құраушысы болып табылатын полимерлі материалдардың айтарлықтай салыстырмалы үлесін ескеруіміз керек.



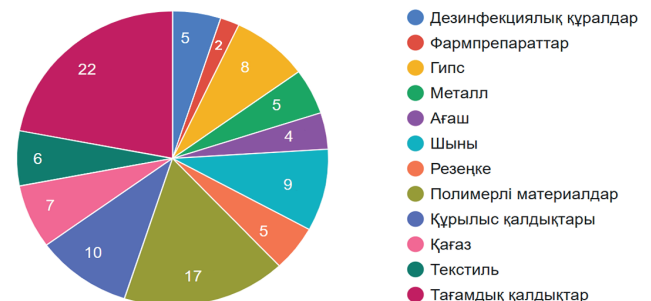
Сурет 1. Қолдану қалдықтарының морфологиялық құрамы.

Figure 1. Morphological composition of consumer waste.

Рис. 1. Морфологический состав отходов потребления.

Қолдану мекемелері қалдықтарының ең аз мөлшерде мазмұндайтындары шыны (0,9%), биологиялық материалдар (0,5%), резеңке, металл мен препараттар (0,2–0,4%) және т. б.

Қалдықтардың морфологиялық құрамын зерттеу бойынша жүйелі жұмыстардың жүргізілуіне байланысты, соңғы жылдары емдеу-профилактикалық мекемелерінің әрекетінде айтарлықтай өзгерістер орын алған. Аталған өзгерістер жаңа технологияларды және бір реттік құралдарды қолданумен байланысты. Осыған орай, емдеу-профилактикалық мекемелері қалдықтарының құрамын анықтау жұмыстарының алғашқы сатысы ретінде, сапалық және сандық морфологиялық құрамын анықтау болды. Бұл зерттеулер бойынша қорытындыланған мәліметтер 2 суретте келтірілген.



Сурет 2. Қолдану қалдықтарының морфологиялық құрамын анықтау нәтижелері.

Figure 2. Results of morphological composition analysis of medical waste.

Рис. 2. Результаты определения морфоогического состава отходов потребления.

2 суретте көрініп тұрғандай, қазіргі таңда емдеу-профилактикалық мекемелері қалдықтарының морфологиялық құрамында ең көп кездесетіндері тағамдық қалдықтар (22%), полимерлі материалдар (17%), құрылыс қалдықтары (10%), шыны (9%) және т. б.

Келтірілген мәліметтер қалдықтардың құрамдарына және олардың адам денсаулығы мен қоршаған ортаға қауіптілік дәрежесі бойынша қалдықтармен жұмыс жасау жүйесін жасау қажеттілігін дәлелдейді [12].

Тұрмыстық қалдықтар санатына жататын едеу-профилактикалық қалдықтарды жинау мен утилизацияға дейін жеткізу жүйесін енгізу еліміздегі осы қалдықтарды тиімді басқаруға мүмкіндік береді. Бұл жүйенің айналымға енгізілу мүмкіндіктері мемлекеттік деңгейде қарастырылуы тиіс деген қорытынды жасалынады. Сонымен қатар, емдеу қалдықтарының морфологиялық құрамы туралы

жалпы түсінік жасау үшін осындай жалпыланған мәліметтерді қолдануға болады, бірақ, қалдықтардың құрамы көп жағдайда емдеу-профилактикалық мекемелерінің түріне және әрекет ету сипатына тәуелді болады.

Қорытынды

Тұрмыстық қалдықтарды жинау мен утилизацияға дейін жеткізу жүйесін енгізу еліміздегі осы қалдықтарды тиімді басқаруға мүмкіндік береді. Бұл жүйенің айналымға енгізілу мүмкіндіктері мемлекеттік деңгейде қарастырылуы тиіс деген қорытынды жасалынады. Сонымен қатар, тұрмыстық қалдықтардың морфологиялық құрамы туралы жалпы түсінік жасау үшін осындай жалпыланған мәліметтерді қолдануға болады, бірақ, қалдықтардың құрамы көп жағдайда профилактикалық мекемелерінің түріне және әрекет ету сипатына тәуелді болады.

ПАЙАЛЫНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Акимкин В.Г., Ключев В.М., Русаков Н.В., Галкин В.Ш. Емдеу-профилактикалық мекемелердегі қалдықтарды жою мәселесінің ұйымдастыру-эпидемиологиялық аспектілері // Емдік-профилактикалық мекемелердегі қалдықтарды басқару мәселелері: жинақ: М., 2003. Б. 9–10 (орыс тілінде)
2. Александровская З.И., Кузьменкова А.М., Гуляев Н.Ф., Крхамбаров Я.Н. Қатты тұрмыстық қалдықтардың санитарлық-бактериологиялық қасиеттері // Қалаларды және қатты тұрмыстық қалдықтарды санитарлық тазалау: М., 1977, Б. 44–46 (орыс тілінде)
3. Андриуда В.Е., Чебакова В.С. Молдова Республикасындағы медициналық қалдықтарды басқару // Ресей ғылыми-практикалық конференциясының материалдары, Мәскеу, 2003. Б. 10–13 (орыс тілінде)
4. Қауіпті қалдықтардың трансшекаралық тасымалдануын бақылау туралы Базель келісімі: денсаулық сақтау саласындағы қауіпті қалдықтармен ластанудан қоршаған ортаны басқарудың техникалық сипаттамасы, Женева, 2001. 235 б. (орыс тілінде)
5. Медициналық-санитарлық қызмет қалдықтарын қауіпсіз басқару, ДДҰ, 2017, 51 б. (орыс тілінде)
6. Бернадинер М.Н., Бернадинер И.М. Медициналық қалдықтарды кәдеге жаратудың оңтайлы технологияларын таңдау критерийлері // «Медициналық қалдықтар: проблемалары мен шешімдері» халықаралық қатысумен III Бүкілресейлік ғылыми-тәжірибелік конференция материалдарының жинағы редакциясымен Ресей Медицина ғылымдары академиясының корреспондент-мүшесі, проф. Русаков Н.В., Мәскеу, 2005. Б. 23–31 (орыс тілінде)
7. Боравский Б.В., Боравская Т.В., Десяткова К.С. Емдік-профилактикалық мекемелердегі қалдықтарды басқару бойынша анықтама. Ред.: Русаков Н.В., Гончаренко В.Л. М.: Өнеркәсіп жаңалықтар, 2005. 300 б. (орыс тілінде)
8. Вежневцев Т.И., Носкова Л.Н. Қаладағы қатты тұрмыстық қалдықтарды санитарлық-гигиеналық бағалау // Гигиена және санитария. 1976. № 11. Б. 96–97 (орыс тілінде)
9. Knoll K.N. Ауруханада дес қалдықтарын проблемалы түрде жою // Z. ges. Hyg. 1990. № 2. Б. 104–105 (ағылшын тілінде)
10. Русаков Н.В., Рахманин Ю.А. Қалдықтар, қоршаған орта, адамзат: М.: Медицина, 2004. 231 б. (орыс тілінде)
11. СанПиН 2.1.7.1287-03. Санитарлық-эпидемиологиялық ережелер мен нормативтер. «Топырақтың сапасына қатысты санитарлық-эпидемиологиялық талаптар» (орыс тілінде)
12. Русаков Н.В., Щербо А.П., Мироненко О.В. Аурухана қалдықтарымен жұмыс істеу шараларының негіздемесі // Гигиена және санитария. 2003. № 4. Б. 11–14 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Akimkin V.G., Klyuzhev V.M., Rusakov N.V., Galkin V.Sh. Organizatsionno-epidemiologicheskie aspekty problemy obezvezhivaniya otkhodov lechebno-profilakticheskikh uchrezhdenii [Organizational and epidemiological aspects of the problem of disposal of medical and preventive institutions' waste], Problemy obrashcheniya s otkhodami [Problems of Medical Waste Management], Moscow, 2003. 9–10 pp. (in Russian)
2. Aleksadrovskaya Z.I., Kuz'menkova A.M., Gulyaev N.F., Krkhambarov Ya.N. Sanitarno-bakteriologicheskie svoistva tverdykh bytovykh otkhodov [Sanitary-bacteriological properties of solid household waste], Sanitarnaia ochistka gorodov i tverdye bytovye otkhody [Sanitary Cleaning of Cities and Solid Household Waste]. Moscow, 1977. 44–46 pp. (in Russian)

3. Andriuda V.E., Chebakova V.S. *Upravlenie meditsinskimi otkhodami v Respublike Moldova [Medical waste management in the Republic of Moldova], Materialy Rossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Proceedings of the Russian Scientific and Practical Conference]. Moscow, 2003. 10–13 pp. (in Russian)*
4. *Bazel'skoe soglasenie po kontrolyu za transgranichnym peremeshcheniem opasnykh otkhodov: tekhnicheskoe opisanie upravleniya okhranoi okruzhayushchei sredy ot zagryaznenii opasnymi otkhodami zdravookhraneniya [Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes: Technical description of environmentally sound management of health-care hazardous waste]. Zheneva, 2001. 235 p. (in Russian)*
5. *Bezopasnoe upravlenie otkhodami mediko-sanitarnoy deyatel'nosti [Safe Management of Wastes from Health-Care Activities], VOZ, 2017. 51 p. (in Russian)*
6. Bernadiner M.N., Bernadiner I.M. *Kriterii vybora optimal'nykh tekhnologii obezvrezhivaniya meditsinskikh otkhodov [Criteria for selecting optimal technologies for medical waste disposal], Sb. materialov III Vserossiiskoi nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem «Meditsinskie otkhody: problemy i puti resheniya», [Proceedings of the III All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation «Medical Waste: Problems and Solutions»]. Ed. by Corresponding Member of RAMS, Prof. N.V. Rusakov. Moscow, 2005. 23–31 pp. (in Russian)*
7. Boravskii B.V., Boravskaya T.V., Desyatkov K.S. *Spravochnoe rukovodstvo po obrashcheniyu s otkhodami lechebno-profilakticheskikh [Reference guide on the management of medical and preventive institutions' waste]. Ed. by Rusakov N.V., Goncharenko V.L. Moscow: Otrasleyve vedomosti, 2005. 300 p. (in Russian)*
8. *Vezhnevets T.I., Noskova L.N. Sanitarno-gigienicheskaya otsenka tverdykh bytovykh otkhodov goroda [Sanitary-hygienic assessment of municipal solid waste], Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation]. 1976. No. 11. 96–97 pp. (in Russian)*
9. *Knoll K.N. Problematic waste disposal in the hospital // Z. ges. Hyg. 1990. No. 2. 104–105 pp. (in English)*
10. *Rusakov N.V., Rakhmanin Yu.A. Otkhody, okruzhayushchaya sreda, chelovek [Waste, Environment, Human]. Moscow: Meditsina, 2004. 231 p. (in Russian)*
11. *SanPiN 2.1.7.1287-03. Sanitarno-epidemiologicheskie pravila i normativy. «Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k kachestvu pochvy» [SanPiN 2.1.7.1287-03. Sanitary and epidemiological rules and regulations. «Sanitary and epidemiological requirements for soil quality»] (in Russian)*
12. *Rusakov N.V., Shcherbo A.P., Mironenko O.V. Obosnovanie meropriyatiy po obrashcheniyu s bolnichnymi otkhodami [Substantiation of measures for hospital waste management], Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation]. 2003. No. 4. 11–14 pp. (in Russian)*

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Акимкин В.Г., Ключев В.М., Русаков Н.В., Галкин В.Ш. Организационно-эпидемиологические аспекты проблемы обезвреживания отходов лечебно-профилактических учреждений // Проблемы обращения с отходами ЛПУ: сб. М., 2003. С. 9–10 (на русском языке)*
2. *Александровская З.И., Кузьменкова А.М., Гуляев Н.Ф., Крхамбаров Я.Н. Санитарно-бактериологические свойства твердых бытовых отходов // Санитарная очистка городов и твердые бытовые отходы: М., 1977. С. 44–46 (на русском языке)*
3. *Андрюда В.Е., Чебакова В.С. Управление медицинскими отходами в республике Молдова // Материалы Российской научно-практической конференции, Москва, 2003. С. 10–13 (на русском языке)*
4. *Базельское соглашение по контролю за трансграничным перемещением опасных отходов: техническое описание управления охраной окружающей среды от загрязнения опасными отходами здравоохранения, Женева, 2001, 235 с. (на русском языке)*
5. *Безопасное управление отходами медико-санитарной деятельности, ВОЗ, 2017, 51 с. (на русском языке)*
6. *Бернадинер М.Н., Бернадинер И.М. Критерии выбора оптимальных технологий обезвреживания медицинских отходов // Сб. материалов III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Медицинские отходы: проблемы и пути решения» под ред. чл.-корр. РАМН, проф. Н.В. Русакова, Москва, 2005. С. 23–31 (на русском языке)*
7. *Боравский Б.В., Боравская Т.В., Десяткова К.С. Справочное руководство по обращению с отходами лечебно-профилактических учреждений. Под ред. Русакова Н.В., Гончаренко В.Л. М.: Отраслевые ведомости, 2005. 300 с. (на русском языке)*
8. *Вежневцев Т.И., Носкова Л.Н. Санитарно-гигиеническая оценка твердых бытовых отходов города // Гигиена и санитария. 1976. № 11. С. 96–97 (на русском языке)*
9. *Knoll K.N. Проблемная утилизация отходов в больнице // Z. ges. Hyg. 990. № 2. С. 104–105 (на английском языке)*

10. Русаков Н.В., Рахманин; Ю.А. Отходы, окружающая среда, человек: М.: Медицина, 2004. 231 с. (на русском языке)
11. СанПиН 2.1.7.1287-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы» (на русском языке)
12. Русаков Н.В., Щербо А.П., Мироненко О.В. Обоснование мероприятий по обращению с больничными отходами // Гигиенами санитария. 2003. № 4. С. 11–14 (на русском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Оралбекова Л.М., Ph.D докторант, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті (Шымкент қ., Қазақстан), K700g81@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0002-3258-0807>

Кенжалиева Г.Д., М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінің доценті (Шымкент қ., Қазақстан), nursara@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7781-9899>

Кочеров Е.Н., М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінің доценті (Шымкент қ., Қазақстан), erkebulan083@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0003-8257-1981>

Байботаева А.Д., Ph.D докторант, Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті (Алматы қ., Қазақстан), aigul_saraneo@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8560-9218>

Information about the authors:

Oralbekova L.M., Ph.D student, M. Auezov South Kazakhstan University (Shymkent, Kazakhstan)

Kenzhalieva G.D., Associate Professor, M. Auezov South Kazakhstan University (Shymkent, Kazakhstan)

Kocherov E.N., Associate Professor, M. Auezov South Kazakhstan University (Shymkent, Kazakhstan)

Baybotaeva A.D., Ph.D Candidate, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Оралбекова Л.М., докторант Ph.D, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова (г. Шымкент, Казахстан)

Кенжалиева Г.Д., доцент Южно-Казахстанского университета им. М. Ауэзова (г. Шымкент, Казахстан)

Кочеров Е.Н., доцент Южно-Казахстанского университета им. М. Ауэзова (г. Шымкент, Казахстан)

Байботаева А.Д., докторант Ph.D, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби (г. Алматы, Казахстан)

CENTRAL ASIA PLAST WORLD

17-18-19 МАРТА | 2026

200+ участников из **20+** стран

Национальные стенды:



Австрия



Германия



Италия



Турция



Китай

18-я Международная Выставка
Индустрии Пластмасс,
Полимеров и Каучука

IN COOPERATION WITH



MEMBER OF



Получить пропуск:



+7 (707) 611 81 04

КАЗАХСТАН, АЛМАТЫ, ВЦ АТАКЕНТ



info@plastworld.kz



[plastworld.kz](https://www.instagram.com/plastworld.kz)



www.plastworld.kz

Код МРНТИ 38.01.09

М.Н. Бегентаев, *А.Б. Байбатша, Б.Б. Амралинова, К.С. Тогизов
 Казахский национальный исследовательский технический университет
 им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Республика Казахстан)

АКТУАЛЬНОСТЬ ИЗУЧЕНИЯ НАСЛЕДИЯ АКАДЕМИКА К.И. САТПАЕВА

Аннотация. Академик К.И. Сатпаев оставил казахскому народу великое наследие: крупные месторождения полезных ископаемых, новые отрасли экономики и города, которые заложили основу современной промышленности Казахстана. Его вклад в становление науки Казахстана, создание новых образовательных и научно-исследовательских институтов, а также подготовку квалифицированных специалистов обеспечил научную базу для перевода страны на промышленные рельсы. Благодаря его усилиям были воспитаны поколения ученых, инженеров и специалистов, внесших значительный вклад в индустриализацию страны, освоение природных ресурсов и развитие инновационных технологий. Этот прочный фундамент знаний продолжает служить устойчивому развитию Казахстана и повышению его конкурентоспособности на мировой арене.

Ключевые слова: наследие Сатпаева, геология, полезные ископаемые, геологоразведка, металлогения, инженерное образование.

Академик Қ.И. Сәтбаев мұрасын зерттеудің өзектілігі

Андатпа. Академик Қ.И. Сәтбаев қазақ халқына ұлы мұра қалдырды – ірі пайдалы қазбалар кен орындары, жаңа экономикалық салалар мен қалалар қазіргі Қазақстан өнеркәсібінің негізін қалады. Оның Қазақстан ғылымының қалыптасуына, жаңа білім беру және ғылыми-зерттеу институттарын құруға, білікті мамандар даярлауға қосқан үлесі елдің индустриялық дамуына ғылыми негіз болды. Сәтбаевтың қажырлы еңбегінің арқасында елдің индустриялануына, табиғи ресурстарды игеруге және инновациялық технологияларды дамытуға зор үлес қосқан ғалымдар, инженерлер мен мамандардың тұтас буыны тәрбиеленді. Бұл берік білім негізі бүгінгі таңда да Қазақстанның тұрақты дамуына және оның әлемдік аренадағы бәсекеге қабілеттілігінің артуына қызмет етеді.

Түйінді сөздер: Сәтбаев мұрасы, геология, пайдалы қазбалар, геологиялық барлау, металлогения, инженерлік білім.

The relevance of studying the legacy of academician K.I. Satpayev

Abstract. Academician K.I. Satpayev left a great legacy to the Kazakh people – major mineral deposits, new branches of the economy, and cities that laid the foundation for Kazakhstan's modern industry. His contribution to the development of Kazakhstani science, the establishment of new educational and research institutions, and the training of qualified specialists provided the scientific foundation for the country's industrial transformation. Thanks to his efforts, generations of scientists, engineers, and professionals were educated, making a significant contribution to the industrialization of the country, the exploration of natural resources, and the advancement of innovative technologies. This solid foundation of knowledge continues to support Kazakhstan's sustainable development and strengthen its competitiveness on the global stage.

Key words: Satpayev's legacy, geology, mineral resources, geological exploration, metallogeny, engineering education.

Введение

На юбилейной сессии Национальной академии наук Президент Касым-Жомарт Токаев подчеркнул, что ученым необходимо ставить перед собой амбициозные задачи, проявлять новаторский подход и повышать эффективность своей деятельности. Он отметил, что в XXI веке сила и конкурентоспособность государства определяются уровнем его научно-технического прогресса. Особая роль в этом процессе принадлежит университету, носящему имя Каныша Сатпаева. По словам Президента, это единственный национальный исследовательский технический университет и ведущий центр инженерного образования в стране. Поэтому именно он должен стать научно-производственной основой для развития новых технических вузов. Глава государства также подчеркнул необходимость утвердить программу развития главного технического университета Казахстана и сформировать на его базе исследовательский хаб, ориентированный на современные технологии в области инженерной науки и образования.

Satbayev University, который в 2024 году отметил 90-летие со дня своего основания, бережно хранит традиции, заложенные К.И. Сатпаевым и его соратниками. В университете созданы условия для разностороннего развития студентов, поощряется творчество во всех его проявлениях. «Помимо зоркой наблюдательности к фактам, геолог должен обладать также немалой силой творческого воображения, чтобы из разрозненных, подчас сложных и неясных фрагментов воссоздать первоначальный, истинный текст отдельных страниц Великой книги природы», – это напутствие Каныша Сатпаева студентам стало главным ориентиром для всех последующих поколений ученых и исследователей. Оно подчеркивает важность сочетания научной строгости с креативностью, умения видеть скрытые связи

и закономерности, а также способность интерпретировать данные, чтобы раскрывать тайны природы.

Творческое наследие

Наши ученые успешно развивают прикладные и фундаментальные исследования, направленные на решение актуальных проблем Казахстана, активно участвуют в международных проектах, направленных на достижение Целей устойчивого развития ООН. Все наши достижения мы справедливо связываем с именем Каныша Сатпаева и спустя десятилетия он продолжает служить ориентиром, на которые равняются ученые, преподаватели и студенты [1–6].

Каныш Имантаевич Сатпаев появился на свет 12 апреля 1899 года в Баянаульском районе Павлодарской области. В 1911 году он завершил обучение в начальной школе родного аула и продолжил образование в Павлодарском русско-киргизском (казахском) училище. Позднее, в 1914 году, поступил в Семипалатинскую учительскую семинарию. После ее окончания Сатпаев работал на родине учителем и народным судьей. Решающий поворот в его судьбе произошел в 1921 году после знакомства с профессором геологии Томского технологического института Михаилом Антоновичем Усовым. Он по приглашению своего ученика Алимхана Ермекова приехал в аул Сатпаевых на кумысолечение. Беседы профессора с молодым Сатпаевым о строении Земли и богатстве недр Казахстана вдохновили Каныша продолжить свое образование и осенью того же года, успешно сдав вступительные экзамены, он поступил на геологоразведочное отделение горного факультета Томского технологического института [7].

В 1926 году Каныш Сатпаев блестяще защитил дипломный проект и получил специальность горного инже-

нера-геолога. После окончания учебы его направили на работу в трест «Атбасцветмет», созданный годом ранее – в 1925 году. Этот трест занимался геологоразведочными работами, освоением Жезказганского медного месторождения и строительством Карсакапайского медеплавильного завода.

Геологоразведочные работы в Жезказгане начались в 1926 году. В период с 1926 по 1929 годы эти исследования проводили сотрудники Геолкома, главной геологической службы страны. Они приезжали в степь в командировку, поэтому их работа носила сезонный характер и не отличалась системностью. Когда руководителем стал Каныш Сатпаев, геологоразведка в Жезказгане перешла в стадию постоянных стационарных исследований. Вскоре между Сатпаевым и геологами Геолкома возник острый принципиальный спор по вопросу оценки перспектив Жезказганского месторождения. Геологи Геолкома считали Жезказган небольшим рядовым месторождением и отрицали наличие крупных запасов меди. Каныш Имантаевич напротив утверждал, что месторождение уникальное по запасам и масштабам распространения медных руд. Эти разногласия имели не только научный характер. В 1928 году в СССР разрабатывалась программа масштабной индустриализации страны. Однако, включение Жезказгана в список перспективных месторождений, где можно было бы построить крупный медеплавильный комбинат – оставалось под большим вопросом.

С 1929 года К.И. Сатпаев полностью взял под свой контроль разведку Жезказганского месторождения. Под его руководством коллектив геологов за сравнительно короткий срок, к концу 1931 года, сумел доказать наличие в Жезказгане огромных запасов меди, значительно превышающих первоначальные прогнозы Геолкома. В 1932 году по итогам геологических работ вышла на свет монография К.И. Сатпаева «Жезказганский меднорудный район и его минеральные ресурсы». В ней подводились итоги масштабных геологоразведочных работ в Жезказган-Улытауском районе, выполненных в 1929–1931 гг. Эти научные исследования определили будущее Жезказгана, однако впереди были годы тяжелой работы и суровых испытаний. В 1933 году финансирование разведки месторождения и проектирования горно-металлургического комбината было неожиданно прекращено. Геологоразведочная организация, в которой работало более 700 человек, была почти полностью ликвидирована. Настойчивые обращения К.И. Сатпаева за помощью в центральные органы ситуацию не изменили – исследования в Жезказгане были заморожены. После смены руководства медной отрасли Советского Союза, К.И. Сатпаев смог встретиться с наркомом тяжелой промышленности и доказать перспективы Жезказганского месторождения.

10 февраля 1938 года издан исторический для Жезказгана приказ № 50 Народного комиссариата тяжелой промышленности СССР, в котором предписывалось немедленно приступить к проектированию нового Жезказганского комбината с увеличением производственной мощности.

С того времени геологоразведочные работы вышли из кризиса. Менее чем за два года в Жезказгане восстановили

прежний объем работ. В 1940 году началось планомерное изучение Жиландинской группы месторождений, расположенных в 40–50 км к северу от Жезказгана. В 1941 году, когда мечты о Большом Жезказгане стали реальностью, в судьбе К.И. Сатпаева произошел резкий перелом – его перевели на работу в Алма-Ату директором Института геологических наук Казахского филиала Академии наук СССР.

Несмотря на сильную загруженность важными экономическими и организационными вопросами, Каныш Имантаевич всегда находил время для подготовки научных публикаций, основанных на результатах своей деятельности. Во время работы в Жезказгане Сатпаев опубликовал целый ряд статей в научно-производственных журналах и газетах, в которых освещал значение Жезказганского региона и его отдельных объектов, а также рассматривал перспективы развития цветной и черной металлургии Центрального Казахстана. В общей сложности проблемам Жезказгана было посвящено более 330 опубликованных работ К.И. Сатпаева.

Переезд Каныша Имантаевича Сатпаева в Алма-Ату совпал с началом войны. Уезжая из Жезказгана, он отдал распоряжение своим коллегам-геологам В.И. Штифанову и И.Н. Богданчикову начать буровые разведочные работы на марганцевом месторождении Жезды, которое он открыл еще в 1928 году. Оценив ход событий на фронте, Каныш Сатпаев понял, что оккупанты могут захватить Никополь – месторождение марганца, обеспечивающее сталеплавильные заводы Урала. Когда это все же произошло, в сжатые сроки были обеспечены бесперебойные поставки марганцевых руд Жезды на уральские заводы, где для производства броневой стали, необходимой для выпуска танков, стали применять марганец из Жезды.

Осенью 1941 года К.И. Сатпаев назначен заместителем председателя, а через год – председателем президиума Казахского филиала АН СССР. Каныш Имантаевич радикально пересмотрел тематический план института, направив научные исследования на оказание максимальной возможной помощи фронту.

Для значительного увеличения выпуска меди в стране по инициативе К.И. Сатпаева была организована поставка на Балхашский завод богатых руд Жезказгана. В Институте геологических наук также начались масштабные работы по оценке месторождений железа и марганца, что стало основой для создания сырьевой базы будущей металлургической промышленности Казахстана. К.И. Сатпаев активно участвовал в работе Комиссии по мобилизации ресурсов Казахстана, Урала и Западной Сибири для нужд обороны страны, председателем которой был президент АН СССР академик В.Л. Комаров, эвакуировавшийся в Алма-Ату.

В 1942 году Каныш Имантаевич за труд «Рудные месторождения Жезказганского района Казахской ССР» был удостоен Государственной премии СССР. Крупные ученые-геологи и академики АН СССР дали этой работе высокую оценку, и в том же 1942 году, за выдающиеся заслуги перед страной и вклад в науку, ему была присуждена ученая степень доктора геолого-минералогических наук, без защиты диссертации.

Научное наследие

Основной характерной чертой работы Каныша Имантаевича на посту руководителя Казахского филиала Академии наук СССР, а позднее Академии наук Казахской ССР, было его стремление поставить научные исследования на службу экономическому и культурному развитию молодой республики. Во время войны филиал наладил тесное сотрудничество с ключевыми предприятиями Казахстана, такими как Жезказганский и Балхашский горно-металлургические комбинаты, горнорудные и металлургические предприятия Рудного Алтая. Ученые разрабатывали научные темы по заказу промышленности, повышающие эффективность производства. В короткий срок Казахский филиал Академии наук стал центром научной мысли в регионе, координируя и проводя исследования по множеству ключевых областей науки, в том числе геологию, горное дело, металлургию, химию, биологию и гуманитарные науки [1, 6–11].

Масштаб выполненных работ и потребность в дальнейшем развитии научных исследований в республике привели к тому, что филиал был преобразован в Академию наук Казахстана. 1 июня 1946 года состоялось торжественное открытие Академии наук Казахской ССР, и ее первым президентом стал Каныш Имантаевич Сатпаев.

Благодаря своим трудам в области геологии и изучения полезных ископаемых Казахстана, а также глубоким знаниям в различных областях науки, он заслужил признание не только в родной стране, но и за ее пределами. Высокой оценкой заслуг К.И. Сатпаева стало избрание его в 1946 году действительным членом (академиком) Академии наук СССР.

В послевоенные годы активно укреплялись и развивались связи между научными учреждениями Академии наук КазССР и промышленными организациями. Молодая академия продолжала расширять свою научную базу. Под общим руководством, каждый научный институт развивал свое направление работы Академии наук. К.И. Сатпаев подчеркивал: «Наша линия – объединять научные силы и нацеливать их на решение основных народнохозяйственных проблем».

В составе научных работ с каждым годом становилось больше проектов, направленных на решение крупных комплексных проблем, обеспечивающих всестороннее развитие экономики регионов республики. Для этого проводились выездные сессии Академии в промышленных центрах – в Рудном Алтае, в Центральном и Западном Казахстане, а также в Костанайской области, что способствовало открытию новых запасов природных ресурсов и развитию промышленности в регионах Казахстана. По результатам работы Академия наук Казахстана вышла на лидирующие позиции среди академий союзных республик. Однако в 1951 году в республике развернулась кампания против так называемых «буржуазных националистов». 23 ноября того же года, после серии организованных критических публикаций в прессе, Бюро ЦК КП(б)К отстранило К.И. Сатпаева от должности президента АН Казахской ССР. Его обвинили в покровительстве «буржуазным националистам», допущенных кадровых и финансовых нарушениях, со-

крытии социального происхождения и ряде других надуманных «нарушений».

К.И. Сатпаев, чтобы опровергнуть обвинения и доказать свою невиновность, отправился в Москву. В этот трудный для него период Сатпаев заручился поддержкой президента Академии наук СССР академика А. Н. Несмеянова, который даже предлагал ему возглавить один из московских геологических институтов. Однако Каныш Имантаевич не смог покинуть родные края. В результате, после серии несправедливых обвинений и наказаний, ему все же позволили остаться в Алматы и продолжить работу в должности директора Института геологических наук. Новый этап в его жизни, несмотря на трудности, получил положительное продолжение. Каныш Имантаевич получил возможность сосредоточиться исключительно на геологических проблемах Казахстана. Под его руководством были развернуты масштабные работы по металлогении, в которых участвовали практически все геологические организации республики.

Металлогенические исследования, инициированные К.И. Сатпаевым, основывались на четко сформулированных им принципах и методах создания прогнозных металлогенических карт. Им был разработан комплексный подход к металлогеническому анализу, а также положения, касающиеся теории рудообразования и прогнозирования месторождений. Благодаря этим исследованиям К.И. Сатпаев заслуженно считается одним из основателей металлогенической науки и родоначальником этого направления в Казахстане.

К началу 1953 года Институт геологических наук АН КазССР завершил масштабную работу по сбору и анализу данных о Центральном Казахстане. В 1954 году были созданы рабочие макеты и окончательные версии систематизированных металлогенических прогнозных карт. Этот труд стал теоретической основой металлогенического анализа Казахстана, позволив определить этапы рудообразования и закономерности размещения месторождений. На прогнозных картах были выделены перспективные участки для проведения геологоразведочных работ, где позже были открыты важные месторождения полезных ископаемых. За эти труды в 1958 году К.И. Сатпаев и группа казахстанских геологов, в числе которых были и ученые нашего университета, удостоена Ленинской премии.

Справедливость восторжествовала: после смены руководства республики в 1955 году Каныш Имантаевич Сатпаев был восстановлен в должности Президента Академии наук Казахстана. Он занимал этот пост до конца своей жизни, продолжая активно работать на благо науки и развития республики. Тематика научных исследований академических институтов была сосредоточена на решении наиболее актуальных задач, соответствующих потребностям страны и ее развитию. Помимо создания новых научных учреждений в Алма-Ате, Академия наук Казахстана активно расширяла свое присутствие в регионах. Для усиления связи науки с производством начали открываться специализированные институты в ключевых промышленных центрах республики, таких как Усть-Каменогорск, Караганда и Гурьев. В декабре

1958 года в Алма-Ате прошло первое Всесоюзное металлогеническое совещание, которое полностью поддержало металлогенические концепции, разработанные казахскими геологами.

Каныш Имантаевич обладал уникальной способностью предвидеть будущее развития регионов республики и оперативно реагировать на ключевые решения правительства. В основе зарождения промышленности многих регионов современного Казахстана лежат масштабные научные исследования, проведенные под руководством Каныша Сатпаева: исследования природных ресурсов полуострова Мангистау, работы по освоению целинных земель, а также проекты, связанные со строительством канала Иртыш – Караганда и решением других стратегических задач (рис. 1). Его научные открытия и по сей день служат во благо нашего государства.

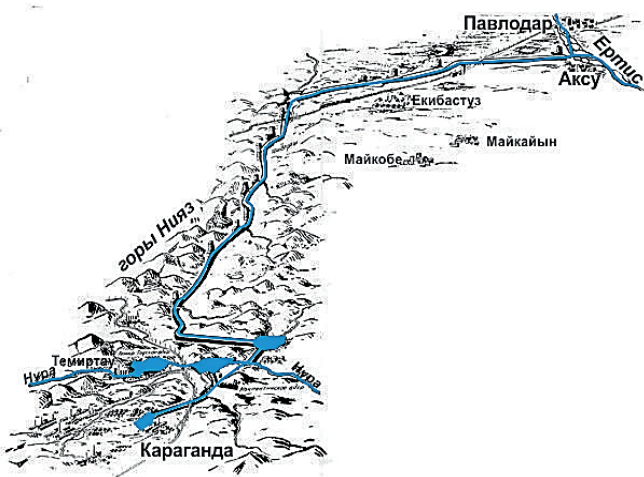


Рис. 1. Канал Ертис – Караганда имени К.И. Сатпаева.

Сурет 1. Қ.И. Сәтбаев атындағы Ертис – Қарағанды каналы.

Figure 1. The Irtysh – Karaganda Canal named after K.I. Satpaev.

Заклучение

В знак признания заслуг и в целях увековечения памяти академика Каныша Имантаевича Сатпаева, его именем названы школы и улицы в городах и поселках республики, канал Иртыш – Караганда, институты и университеты. В Жонгарском Алатау его имя носит ледник и пик. Малую планету в космосе также назвали в его честь.

По инициативе Главы государства 125-летие со дня рождения Каныша Имантаевича Сатпаева отмечалось на

высоком государственном уровне, как дань уважения первому казахскому академику. Как отметил Касым-Жомарт Токаев, главное – продолжить масштабное дело, начатое Канышом Сатпаевым.

«Мы говорим «наука» – и прежде всего, имеем в виду великого ученого Каныша Сатпаева. И это закономерно. Не случайно Национальная академия наук Казахстана, восстановившая свой государственный статус, прочно ассоциируется с именем Каныша Сатпаева, которым гордится не только наша страна, но и вся мировая научная общественность», – эти слова Президента Казахстана в полной мере отражают роль первого академика в истории нашей страны.

Каныш Сатпаев был не только выдающимся ученым, но и наставником, который воспитал целое поколение ученых, чьи ученики и сегодня продолжают дело первого академика. Он остается для всех символом мужества, патриотизма и настойчивости в стремлении к истине в поисках новых горизонтов знаний.

Глубокий научный анализ, классификация трудов и подготовка 8-томного собрания научных трудов К.И. Сатпаева в 1998–2001 гг. выполнены коллективом Института геологических наук им. К.И. Сатпаева с самым активным и творческим участием дочери К.И. Сатпаева, крупного ученого-геолога, доктора геолого-минералогических наук Меиз Канышевы Сатпаевой.

НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева» подготовил и издал собрание трудов К.И. Сатпаева в 10 томах к 125-летию выдающегося ученого-геолога, организатора и первого президента Академии наук Казахстана, видного общественного и государственного деятеля [8–11].

10-томное собрание сочинений академика К.И. Сатпаева, включающее его работы в области геологии, горного дела, металлургии и других наук, представляет собой ценнейший вклад в научное наследие Казахстана и всего мирового научного сообщества.

Данная статья финансировалась Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по теме BR24992920 «Исследование научно-культурного наследия академика К.И. Сатпаева – путь к развитию научных школ Казахстана».

Благодарность

Данная статья была подготовлена при поддержке проекта ИРН BR24992920 «Исследование научно-культурного наследия академика К.И. Сатпаева – путь к развитию научных школ Казахстана», финансируемого Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сатпаев К.И. Природные богатства Казахстана: Алматы: КазННТУ, 2024. Т. 1. 339 с. (на казахском языке)
2. Сатпаев К.И. Большой Жезказган: Алматы: КазННТУ, 2024. Т. 2. 509 с. (на русском языке)
3. Сатпаев К.И. Минеральные ресурсы Казахстана: черные металлы: Алматы: КазННТУ, 2024. Т. 3. 365 с. (на русском языке)
4. Сатпаев К.И. Минеральные ресурсы Казахстана: цветные металлы: Алматы: КазННТУ, 2024. Т. 4. 330 с. (на русском языке)

5. Сатпаев К.И. Геологическое изучение недр Казахстана: Металлогения: Алматы: КазННТУ, 2024. Т. 5. 463 с. (на русском языке)
6. Сатпаев К.И.. Наука Казахстана: 1941–1951 гг.: Алматы: КазННТУ, 2024. Т. 6. 368 с. (на русском языке)
7. Лозовский И.Т., Сипайлов Г.А. Студенческие годы Каныша Сатпаева в Томске: биографический очерк. 2-е издание: Томск: ТПУ, 2019. 136 с. (на русском языке)
8. Сатпаев К.И. Наука Казахстана: 1955–1963 гг.: Алматы: КазННТУ, 2024. Т. 7. 509 б. (на русском языке)
9. Сатпаев К.И. Научно-популярные и общественно-политические статьи, выступления: Алматы: КазННТУ, Т. 8. 2024. 309 с. (на русском языке)
10. Сатпаев К.И. Публицистика. Материалы к библиографии: Алматы: КазННТУ, 2024. Т. 9. 378 с. (на русском языке)
11. Сатпаев К.И. Алгебра: Алматы: КазННТУ, 2024. Т. 10. 559 с. (на казахском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Сәтбаев Қ.И. Қазақстанның табиғи байлықтары: Алматы: ҚазҰТЗУ, 2024. Т. 1. 339 б. (қазақ тілінде)
2. Сәтпаев Қ.И. Үлкен Жезқазған: Алматы: ҚазННТУ, 2024. Т. 2. 509 б. (орыс тілінде)
3. Сәтпаев Қ.И. Қазақстанның минералдық ресурстары: қара металдар: Алматы: ҚазННТУ, 2024. Т. 3. 365 б. (орыс тілінде)
4. Сәтпаев Қ.И. Қазақстанның минералдық ресурстары: түсті металдар: Алматы: ҚазННТУ, 2024. Т. 4. 330 б. (орыс тілінде)
5. Сәтпаев Қ.И. Қазақстан жер қойнауын геологиялық зерттеу: металлогения: Алматы: ҚазННТУ, 2024. Т. 5. 463 б. (орыс тілінде)
6. Сәтпаев Қ.И. Қазақстан ғылымы: 1941–1951 жж. : Алматы: ҚазННТУ, 2024. Т. 6. 368 б. (орыс тілінде)
7. Лозовский И.Т., Сипайлов Г.А. Қаныш Сәтбаевтың Томскідегі студенттік жылдары: биографиялық очерк. 2-басылым: Томск: ТПУ, 2019. 136 б. (орыс тілінде)
8. Сәтпаев Қ.И. Қазақстан ғылымы: 1955–1963 жж. : Алматы: ҚазННТУ, 2024. Т. 7. 509 б. (орыс тілінде)
9. Сәтпаев Қ.И. Ғылыми-танымдық және қоғамдық-саяси мақалалар, баяндамалар: Алматы: ҚазННТУ, 2024. Т. 8. 309 б. (орыс тілінде)
10. Сәтпаев Қ.И. Публицистика. Библиография материалдары: Алматы: ҚазННТУ, 2024. Т. 9. 378 б. (орыс тілінде)
11. Сәтбаев Қ.И. Алгебра: Алматы: ҚазҰТЗУ, 2024. Т. 10. 559 б. (қазақ тілінде)

REFERENCES

1. Satpaev K.I. Kazakhstan's Natural Resources: Almaty: KazUTZU, 2024. V. 1. 339 p. (In Kazakh)
2. Satpaev K.I. Bol'shoi Zhezkazgan [Great Zhezkazgan]. Almaty: KazNITU, 2024. V. 2. 509 p. (In Russian)
3. Satpaev K.I. Mineral'nye resursy Kazakhstana: chernye metally [Mineral Resources of Kazakhstan: Ferrous Metals]. Almaty: KazNITU, 2024. V. 3. 365 p. (In Russian)
4. Satpaev K.I. Mineral'nye resursy Kazakhstana: tsvetnye metally [Mineral Resources of Kazakhstan: Non-Ferrous Metals]. Almaty: KazNITU, 2024. V. 4. 330 p. (In Russian)
5. Satpaev K.I. Geologicheskoe izuchenie neдр Kazakhstana: Metallogeniya [Geological Study of Kazakhstan's Subsoil: Metallogeny]. Almaty: KazNITU, 2024. V. 5. 463 p. (In Russian)
6. Satpaev K.I. Nauka Kazakhstana: 1941–1951 gg. [Science of Kazakhstan: 1941–1951]. Almaty: KazNITU, 2024. V. 6. 368 p. (In Russian)
7. Lozovskii I.T, Sipailov G.A. Stencheskie gody Kanysha Satpaeva v Tomske: biograficheskii ocherk. 2-e izdanie [Kanysh Satbayev's Student Years in Tomsk: A Biographical Essay. 2nd Edition]. Tomsk: TPU, 2019. 136 p. (In Russian)
8. Satpaev K.I. Nauka Kazakhstana: 1955–1963 gg. [Science of Kazakhstan: 1955–1963]. Almaty: KazNITU, 2024. V. 7. 509 p. (In Russian)
9. Satpaev K.I. Nauchno-populyarnye i obshchestvenno-politicheskie stat'i i vystupleniya [Popular Science and Socio-Political Articles and Speeches]. Almaty: KazNITU, 2024. V. 8. 309 p. (In Russian)
10. Satpaev K.I. Publitsistika. Materialy k bibliografii [Journalism. Materials for a Bibliography]. Almaty: KazNITU, 2024. V. 9. 378 p. (In Russian)
11. Satpaev K.I. Algebra: Almaty: QazUTZU, 2024. V. 10. 559 p. (In Kazakh)

Сведения об авторах:

Бегентаев М.М., доктор экономических наук, профессор, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), m.begentayev@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0001-9688-4370>

Байбатша А.Б., доктор геолого-минералогических наук, профессор, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), a.baibatsha@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-9521-7872>

Амралинова Б.Б., доктор Ph.D, ассоциированный профессор, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), b.amralinova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0003-0716-5265>

Тогизов К.С., Ph.D, ассоциированный профессор, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), k.togizov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-4830-405X>

Авторлар туралы мәліметтер:

Бегентаев М.М., Сәтбаев университетінің экономика ғылымдарының докторы, профессор (Алматы қ., Қазақстан)

Байбатша А.Б., Сәтбаев университетінің геология-минералогия ғылымдарының докторы, профессор (Алматы қ., Қазақстан)

Амралинова Б.Б., Сәтбаев университетінің Ph.D докторы, қауымдастық профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

Тогизов К.С., Сәтбаев университетінің Ph.D докторы, қауымдастық профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Begentayev M.M., doctor of economics, professor, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Baibatsha A.B., doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Amralinova B.B., doctor Ph.D, associate professor, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Togizov K.S., Ph.D, associate professor, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)



ВЫСТАВКА «ГАЗ. НЕФТЬ. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – КРАЙНЕМУ СЕВЕРУ»

в рамках
ЯМАЛЬСКОГО
НЕФТЕГАЗОВОГО
ФОРУМА

СИБЭКСПО SERVICE

ООО «Выставочная компания Сибэкспосервис», г. Новосибирск

Тел.: +7 (383) 335-63-50, e-mail: vk ses@yandex.ru, www.ses.net.ru

18-19 МАРТА

г. Новый Уренгой
2026



ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ И УСЛОВИЯ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ СТАТЕЙ в редакцию периодического печатного издания «Горный журнал Казахстана»

1. «Горный журнал Казахстана» принимает к публикации оригинальные статьи научного и научно-технического содержания, отражающие результаты исследовательской и научной деятельности, имеющие рекомендации к практическому применению решаемых вопросов, а также статьи обзорного характера, отвечающие критериям первичной научной публикации (полный перечень рубрик указан на сайте *minmag.kz*).

2. Основные требования к статьям, представленным для публикации в журнале:

- набор статьи производится в текстовом редакторе Word шрифтом Times New Roman 12 кеглем с полуторным интервалом;
- общий объем статьи, включая рисунки, таблицы, метаданные не должен превышать 8 печатных страниц;
- статьи (за исключением обзоров), должны содержать новые научные результаты;
- статья должна соответствовать тематике (см. п. 1), научному уровню журнала;
- статья должна быть оформлена в полном соответствии с требованиями, отраженными в п. 3;
- статья может быть представлена на казахском, русском или английском языке;
- в редакцию представляется окончательный, **тщательно выверенный вариант** статьи, исключающий необходимость постоянных доработок текста на этапах издательского процесса;
- перед отправкой статьи в редакцию журнала авторам необходимо проверить текст на предмет отсутствия плагиата.

3. Структура статьи должна содержать следующие разделы:

- код МРНТИ (ГРНТИ <http://grnti.ru/?p1=52>) – шестизначный;
- название статьи (сокращения не допускаются, не допускается использование аббревиатур и формул; максимальное количество слов 10-12) должно быть информативным, соответствовать научному стилю текста, содержать основные ключевые слова, характеризующие тему (предмет) исследования и содержание работы, предоставляется на казахском, русском и английском языках;
 - инициалы и фамилии авторов; статья должна иметь не более 4 авторов; знаком «*» указывается автор-корреспондент;
 - сведения о каждом авторе (ученая степень, ученое звание, должность, место основной работы, город, страна, контактные данные (адрес электронной почты), ORCID ID) предоставляются на казахском, русском и английском языках;
 - полное название организации (-й), где работают авторы (с указанием ведомственной принадлежности);
 - аннотация в соответствии с требованиями международных баз данных должна достаточно полно раскрывать содержание статьи, включая характеристику основной темы, проблемы объекта, цели исследования, основные методы, результаты исследования и главные выводы. В аннотации необходимо указать, что нового несет в себе статья в сравнении с другими, родственными по тематике и целевому назначению материалами. Аннотация предоставляется на казахском, русском и английском языках объемом не менее 700 и не более 900 символов;
 - ключевые слова в количестве 6...10 устойчивых словосочетаний, по которым в дальнейшем будет выполняться поиск статьи (сокращения и аббревиатуры не допускаются): ключевые слова отражают специфику темы, объект и результаты исследования и предоставляются на казахском, русском и английском языках;
 - текст статьи, содержащий следующие разделы (введение, методы/исследования, результаты, обсуждение результатов, заключение/ выводы);
 - список использованных источников (10...12), в том числе не менее 3 зарубежных не ранее 2015 года, предоставляется на казахском, русском и английском языках.

РИСУНКИ должны иметь расширение графических редакторов CorelDraw, Photoshop, Illustrator и т. п.). Фотографии должны быть предельно четкими в графическом формате (TIFF, JPEG, CDR) с разрешением не менее 300 dpi. Все буквенные и цифровые обозначения на рисунках необходимо пояснить в основном или подрисовочном тексте. Надписи и другие обозначения на графиках и рисунках должны быть четкими и легко читаемыми. **ПОДПИСИ К РИСУНКАМ и ЗАГОЛОВКИ ТАБЛИЦ ОБЯЗАТЕЛЬНЫ.** Оформляются отдельным блоком на казахском, русском и английском языках.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ФОРМУЛЫ следует набирать в формульном редакторе MathTypes Equation или MS Equation, греческие и русские буквы в формулах набирать прямым шрифтом (опция текст), латинские – курсивом. **Обозначения величин и простые формулы в тексте и таблицах набирать как элементы текста** (а не как объекты формульного редактора). Нумеровать следует только те формулы, на которые есть ссылки в последующем изложении. Нумерация формул сквозная.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ составляется в порядке цитирования и оформляется в строгом соответствии с ГОСТ Р 7.05-2008. Ссылки на литературу в тексте отмечаются по мере их появления порядковыми номерами в квадратных скобках. Список приводится на казахском, русском и английском языках с указанием в скобках оригинала публикации. Образец оформления литературы и транслитерации размещен на сайте *minmag.kz*.

4. Условия приобретения журналов авторами.

С автором(ами) заключается договор о приобретении 10 (десяти) экземпляров журнала согласно установленным расценкам на текущий год, которые он(они) имеют право распространять среди горной общественности. После оплаты статья публикуется в номере журнала согласно очередности.