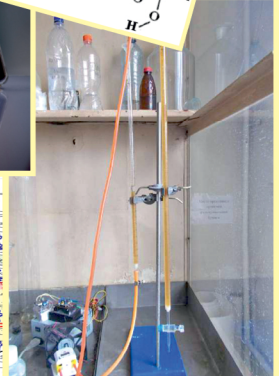
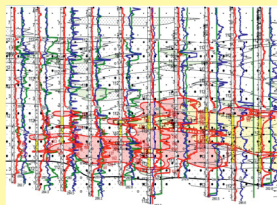
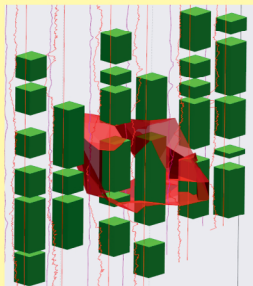


# ЯДЕРНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ КАЗАХСТАНА

выпуск 20





# ЯДЕРНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ КАЗАХСТАНА

сборник докладов 21-ого Молодежного семинара  
молодых специалистов предприятий  
ядерной отрасли Республики Казахстан

ЯДЕРНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ КАЗАХСТАНА: Сборник докладов, выпуск 20, 2025 / Ассоциация «Ядерное общество Казахстана». — Астана, 2025, 55 стр.

Семинары «Ядерный потенциал Казахстана» организуются ассоциацией «Ядерное общество Казахстана» ежегодно для молодых специалистов ядерных предприятий с привлечением международных экспертов. Каждый семинар проходит на базе разных предприятий ядерной отрасли Республики Казахстан.

Цели и задачи:

- активизация творческой деятельности и поддержка научного и технического творчества молодых ученых и специалистов ядерных предприятий;
- содействие профессиональному росту молодежи, развитию молодежных научных инициатив и закреплению молодых ученых и специалистов на ядерных предприятиях РК;
- представление, защита и реализация профессиональных, интеллектуальных, юридических интересов и прав молодых ученых и специалистов на ядерных предприятиях РК.

На семинарах обсуждаются проблемы уранодобывающей промышленности; производства ядерного топлива; атомной энергии; ядерной физики, радиоэкологии, геофизики; юридические, макроэкономические и образовательные аспекты в ядерной отрасли.

В семинарах ежегодно принимают участие представители организаций ядерного профиля: Казатомпром, УМЗ, НЯЦ РК, ИАЭ НЯЦ РК, ИРБЭ НЯЦ РК, ИЯФ РК, ИГИ, Волговгеология, ИВТ, уранодобывающих предприятий, а также студенты ВУЗов.

## СЕКЦИЯ: «РАЗВИТИЕ УРАНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»

## УРАН ӨНДІРУ ӨНЕРКӘСІБІН ДАМУ

**Мұрат Б.М.**

ТОО «Казатомэнеркәсіп-SaUran», с.Сызган, Казахстан

### КІРІСПЕ

Бүгінгі таңда энергетикалық қауіпсіздік пен тұрақты даму мәселелері бүкіл әлемнің басты назарында. Адамзаттың индустриялық және ғылыми-техникалық прогресі энергия көздеріне деген сұранысты жыл сайын арттыруда. Осындай жағдайда дәстүрлі көмірсутекті отын түрлеріне балама ретінде атом энергиясы маңызды рөл атқарады. Ал атом энергетикасының негізі – уран.

Уран – жер қыртысындағы ең кең тараған ауыр радиоктивті элементтердің қатарына жатады.

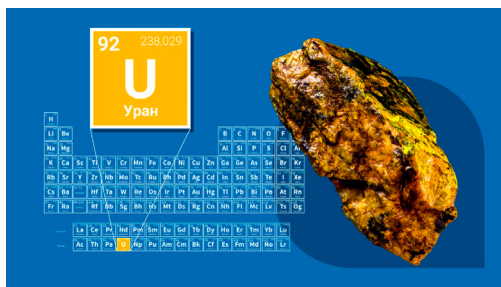
Табиғатта уранның үш изотопы кездеседі:

$^{234}\text{U}$  (үлесі 0,0055 %),  $^{235}\text{U}$  (0,7200 %),  $^{238}\text{U}$  (99,2745%).

Жер қыртысында күміс пен алтыннан әлдеқайда көп, қорғасынмен деңгейлес.

Уранның табиғатта таралу аймақтары:

- Магмалық жыныстарда: гранит, пегматит, қышқыл магмалық жыныстар.
- Шөгінді жыныстарда: құмтас, саз, көмір қабаттары, фосфориттер.
- Теңіз және өзен шөгінділерінде: теңіз түбінің лайында, органикалық қалдықтарда, марганец конкрецияларында кездеседі.



Жалпы мәлімет

Химиялық белгісі: **U**

Атомдық нөмірі: 92

Атомдық массасы: **238,03**

Периодтық жүйедегі орны:

**Актиноидтар тобы**

Тотығу дәрежелері: **+3, +4, +5, +6**

Табиғи изотоптары:

**U-238 (≈ 99,3%)**

**U-235 (≈ 0,7%)**

Уран – атом нөмірі 92 болатын химиялық элемент, ауыр металдар қатарына жатады. Ол негізінен уранинит, карнотит, кофинит секілді минералдардың құрамында кездеседі. Табиғи уран үш изотоптан тұрады: U-238, U-235 және U-234. Олардың ішіндегі ең маңыздысы – U-235, себебі ол бөлінгіш қасиетке ие және ядролық реакторларда отын ретінде қолданылады.

Уран – энергетикалық әлеуеті өте жоғары металл. Оның энергетикалық қуаты көмір мен мұнайға қарағанда бірнеше есе артық. Сондықтан уран өндіру өнеркәсібін дамыту – Қазақстан үшін экономикалық та, стратегиялық та маңызы зор бағыт болып табылады.

Уран энергия көздерінің ішінде экологиялық тиімділігімен де ерекшеленеді. Атом станциялары көмір мен газға қарағанда атмосфераға зиянды қалдықтарды аз шығарады. Осы себепті уранды бейбіт мақсатта пайдалану – адамзаттың энергетикалық болашағын қамтамасыз етудің маңызды тетігі.

Уран саласын дамытудың негізгі бағыттары

- Жер қойнауын тиімді пайдалану
- Озық технологиялар еңгізу
- Экспорт нарығын кеңейту
- Қауіпсіздік нормаларын жетілдіру
- Жергілікті кадрларды даярлау

Адам капиталын дамыту

- Геология, химия, экология, радиациялық қауіпсіздік мамандарын даярлау.
- Университеттер мен ғылыми институттарда зертханалар ашу
- Халықаралық оқу бағдарламасына қатысу

Кадр даярлау

- Инженерлерді, геологтарды, экологтарды оқыту.
- Оқу орталықтары мен және ЖОО-мен серіктестік құру.

Жер қойнауындағы уранды тиімді пайдалану – бұл еліміздің табиғи ресурстарын ұқыпты әрі ұтымды игеруді көздейтін маңызды бағыттардың бірі. Уранды тиімді пайдалану экологиялық, экономикалық және технологиялық тұрғыдан маңызды.

Уран өндіруде тиімді әрі экологиялық таза технологияларды қолдану өте маңызды. Қазіргі таңда уран өндіру саласында бірнеше озық әдістер кеңінен қолданылады.

### 1. Жерасты ұңғымалық шаймалау (ЖҰШ) технологиясы

Бұл – қазіргі таңда ең тиімді және экологиялық қауіпсіз әдіс.

- Уран кен орнына арнайы ұңғымалар бұрғыланып, шаймалау ерітіндісі (күкірт қышқылы немесе карбонатты ерітінді) айдалады.
- Ерітінді уранды кеннен ерітіп, артқы ұңғымалар арқылы жер бетіне шығарылады.
- Арнайы ион алмастырғыш қондырғыларда уран ерітіндіден бөлініп алынады.

Артықшылықтары:

- Қоршаған ортаға зияны аз.
- Еңбек шығыны төмен.
- Металл алу үлесі жоғары (90%-ға дейін).
- Кен қазбаларын қазудың қажеті жоқ.

### 2. Автоматтандыру және цифрлық технологиялар

Қазіргі уран өндіру кәсіпорындары өндіріс процесін автоматтандыру және қашықтан бақылау жүйелерімен жабдықталған.

SCADA, IoT, дрондар, жасанды интеллект жүйелері қолданылады.

Ұңғымалардағы қысым, ерітінді құрамы, температура сияқты параметрлерді онлайн бақылауға мүмкіндік береді.

### 3. Гидрометаллургиялық қайта өңдеу технологиялары

Уран ерітіндісі өндірістен кейін арнайы гидрометаллургиялық зауыттарда өңделеді.

Сұйық – сұйық экстракция, ион алмастыру, тұндыру әдістері қолданылады. Соңғы өнім – уран концентраты ( $U_3O_8$ ), яғни «сары кек» деп аталатын зат.

### 4. Экологиялық қауіпсіздік пен қалдықсыз өндіріс

Жаңа технологиялар суды қайта айналымда пайдалануға мүмкіндік береді. Радиациялық және химиялық қалдықтар арнайы сүзу мен бейтараптандыру жүйесінен өтеді. Қалпына келтіру жұмыстары кен орны пайдаланудан шыққан соң дереу жүргізіледі.

#### Стратегиялық мақсаттар мен бағыттарды анықтау

Ресурстық базаны кеңейту, өндіріс тиімділігін арттыру. Елдің минералды – шикізат қорларын тиімді пайдалану. Уран өндіру, қайта өңдеу, экспорттау саласында ұзақ мерзімді мақсат қою. Ядролық энергетика, медицина, ғылым, және өнеркәсіптің қажеттіліктерін есептеу.

Нәтижесі: Сала дамуының 10-20 жылдық стратегиясы. Геологиялық барлау жұмыстарын күшейту. Жаңа кен орындарын іздеу, барлау сапасын арттыру, геологиялық деректерді цифрландыру. Перспективті кен орындарын геофизикалық әдіспен анықтау. Жер қойнауын пайдалануға арналған лицензиялау жүйесін жетілдіру. Қолданыстағы кендерді қайта барлау. Мақсаты: Ресурстық база тұрақтылығын қамтамасыз ету.

#### Технологиялық жаңғырту (қауіпсіз деңгейде сипаттама)

- Қолданыстағы кәсіпорындардың жабдықтарын жаңарту
- Цифрлық тау-кен жүйелерін еңгізу
- Автоматтандыру
- Қашықтықтан бақылау, геомониторинг,
- Қалдықтарды басқару технологиясын жақсарту
- Еңбек қауіпсіздігін және экологиялық стандарттар
- Радиациялық қауіпсіздік нормаларын күшейту
- Экологиялық мониторинг (су, топырақ, ауа)
- Кендерді игеру кезінде жергілікті экожүйені қорғау шараларын еңгізу.
- Мақсаты: Халық денсаулығын және қоршаған ортаны қорғау.

Уран өндірісіндегі автоматтандыру – бұл уранды өндіру, өңдеу және тазалау үдерістерін басқаруды заманауи технологиялар арқылы жетілдіру жүйесі. Автоматтандырудың басты мақсаты – еңбек өнімділігін арттыру, қауіпсіздікті қамтамасыз ету және адам факторынан туындайтын қателіктерді азайту. Жаңа технологияларды пайдалана отырып халық денсаулығын қорғау Қазіргі заманда халық денсаулығын қорғау – мемлекет саясатының басты бағыттарының бірі. Денсаулық сақтау саласында жаңа технологияларды еңгізу бұл мақсатқа жетудің ең тиімді жолдарының бірі болып табылады.

Уран өндіру саласында технологиялық жаңарту – бұл өндіріс тиімділігін арттыру, экологиялық қауіпсіздікті күшейту және еңбек өнімділігін жоғарылату бағытындағы басты үрдіс. Қазіргі таңда уран өндіру мен өңдеу технологиялары қарқынды түрде жаңартылып келеді.

Уран өндіру саласындағы технологиялық жаңарту – бұл тек өндіріс процесін жетілдіру ғана емес, сонымен қатар экологиялық қауіпсіздік пен экономикалық тиімділікті арттырудың басты тетігі.

Радиациялық қауіпсіздік стандарттарын күшейту.

Уран өндірісінің басты талабы:

- Халық денсаулығын қорғау
- Жұмысшылар қауіпсіздігі
- Қалдықтарды дұрыс сақтау
- Жер асты суларының ластануын болдырмау

Халықаралық стандарттарға сәйкестік (IAEA, ISO) қажет.

Цифрландыру және инновациялар

- Қазіргі уран өнеркәсібінің негізгі трендтері:
- Дрондармен барлау
- Геологиялық 3D модельдеу
- Автоматтандырылған бұрғылау
- Жер асты сулары мониторингінің цифрлық жүйесі
- Деректерді шынайы уақытта бақылау (real-time monitoring)
- Ақылды кеніш (Smart Mine) концепциясы

Цифрландыру өндірістің өнімділігін 10-30% арттыра алады.

Технологиялық жаңарту

1. Өндірісті автоматтандыру және цифрлық жүйелер еңгізу.
2. Экологиялық және ресурс тиімді технологияларды пайдалану.
3. Жабдықтар жаңғырту.

Инвестиция және серіктестік

1. Инвесторлар үшін қолайлы жағдай жасау.
2. Мемлекеттік-жекеменшік әріптестікті дамыту.
3. Халқаралық ұйымдар мен ынтымақтастық құру

Тау-кен инфрақұрылымын дамыту

1. Кен орындарына қажетті жол, электр, су байланыс желілерін тарту.
2. Логистиканы оңтайландыру (көлік, қойма, қауіпсіз тасымалдау).

#### Автоматтандырудың негізгі бағыттары:

1. Гидрогеотехнологиялық (жерасты шаймалау) процестерді автоматтандыру
  - Ерітіндінің қысымы, деңгейі, дебиті мен құрамын автоматты бақылау.
  - Датчиктер мен сенсорлар арқылы онлайн деректер алу.
  - PLC (Programmable Logic Controller) және SCADA жүйелері арқылы басқару.
2. Инвестицияның маңызы
  - Уран өндірісіне инвестиция салу:
  - Энергетикалық тәуелсіздікті қамтамасыз етеді – ядролық отын өндірісін дамыту арқылы.
  - Экономикалық өсім мен жаңа жұмыс орындарын ашады.
  - Жоғары технологияларды енгізуге және экологиялық қауіпсіз өндіріске көшуге мүмкіндік береді.
3. Заманауи инфрақұрылым құру
  - Бұрғылау және өндіру алаңдары – жаңа буынды бұрғылау жабдықтарымен, геотехнологиялық ұңғымалармен жабдығталады.
  - Сілтісіз шаймалау (in-situ leaching) әдісі қолданылатын учаскелерде құбыр жүйелері, реагент сақтау қоймалары және бақылау пункттері жаңартылуда.
  - Энергиямен қамтамасыз ету – күн және жел энергиясын пайдалану арқылы тұрақты энергия көздерін енгізу.

#### Шаймалау әдісі

Уранды шаймалау әдісі (уранды жер астында немесе жер үстінде ерітіндімен шығару әдісі) – уранды кеннен химиялық ерітінділер арқылы ерітіп, оны сұйық түрде өндіру тәсілі. Бұл әдіс уран өндірудің ең экологиялық және экономикалық тиімді түрлерінің бірі болып саналады.

Гидрометаллургия – металлдардың және олардың қосылыстарын шикізаттардан бөліп алудың сулы әдістерін қамтитын химиялық технологияның бөлігі.

Төменде шаймалаудың 3 әдісі қарастырылған:

1. Қышқылдық шаймалау
  - уранды қышқылды ортада еріту.
  - Тотыққан кендерге қолданылады.
2. Сілтілік шаймалау
  - Уранды сілтілік ортада еріту.
  - Қышқылға төзімді кендерге тиімді.
3. Жерасы шаймалау
  - Ертінді жер астындағы кен қабатына жіберіледі.
  - Уран ертіндіге түсіп, қайта сорылып алынады.

#### Шаймалау әдісінің артықшылықтары мен кемшіліктері

Артықшылықтары:

- жер қазбайды;
- өндіріс құны ең төменгі әдістердің бірі;
- радиологиялық қауіп деңгейі салыстырмалы төмен, қалдық аз;
- экологиялық әсері төмен.

Кемшіліктері:

- Жер асты су қабаттарын қорғау үшін өте қатаң бақылау қажет. Геологиялық қолайсыз болса, қолдану мүмкін емес.
- Ұңғымалар жүйесін ұзақ бақылау керек.

Қолданылатын елдер: Қазақстан, Өзбекстан, АҚШ, Қытай.

#### Уран өндірудің зиянсыз түрлері

Кислородпен уран өндіру-уранның кеннен алынуы немесе байытылуы кезінде оттегінің қолданылатын бірқатар химиялық процестермен байланысты. Бұл процестер металл уранды немесе оның қосылыстарын еріту және тотығу арқылы жүзеге асады.

Уран өндіруде кислород қолданылатын әдіс:

Ең кең тараған экологиялық таза әдіс. Кислород-уранның еруін жақсарту үшін қолданылады. Ол уранды төмен тотығу күйіне өткізіп, суда еритін формаға айналдырады. Бұл әдістер уран кенін жерді қазбай ақ өндіруге мүмкіндік береді. Жер асты суларына да зияны аз.

Шаймалау түрлері:

- Агитациялық әдіс – кен мен еріткіштің бірге араласуына негізделген.
- Перколяциялық әдіс – кен қабаты қозғалмайды, тек еріткіш кен арқылы сүзіліп өтеді.

*Оттегі уранмен қалай әрекеттеседі? (ғылыми тұрғыдан)*

Уран – реакцияға қабілетті металл. Ол оттегімен оңай тотығады, яғни уран қосылыстары (оксидтері) түзіледі.

#### Уранды оттегімен тотықтыру

Уран металын оттегімен қыздырғанда оның бетінде оксидтер түзіледі:

- $UO_2$  (уран диоксиді)
- $U_3O_8$  (уран октаподы)
- $UO_3$  (уран триоксиді)

Бұл реакциялар уранды химиялық өңдеу кезіндегі алғашқы сатылардың бірі болып табылады.

**Ашық карьерлік өндіру**

Жер бетіне жақын жатқан кенді ашық карьер қазу арқылы алу.  
Үлкен техникалар қолданылады.

Кемшіліктері

Ландшафт қатты өзгереді, топырақтар пен тау жыныстары көп мөлшерде аршылады, экологиялық әсері жоғарырақ.

Қолданылатын елдер: Намибия, Австралия, Ресей.

**Жер асты шахталық өндіру**

Терең кен орындарын шахта, штольная арқылы өндіру.

Артықшылықтары:

- Терең кен орындарды игеруге мүмкіндік береді
- Ландшафт өзгерісі аздау
- Жоғары сапалы кен орындар үшін тиімді

Кемшіліктері:

- Қымбат
- Қауіпсіздік талаптары жоғары
- Жұмысшылар үшін тәуекелдігі жоғарылау

Қолданылатын елдер: Канада

(ең бай уран кен орындары) Австралия, Ресей

**Үйіндіде шаймалау әдісі**

Төмен сапалы кенді үйіндіге салып, үстіне ертінді жіберу арқылы уранды шаймалау.

Артықшылықтары:

- Төмен сапалы кенді де пайдалануға мүмкіндік береді. Қарапайым процесс. Өндіру құны төмен

Кемшіліктері:

- Процесс баяу, экологиялық бақылау қажет, тек белгілі бір климаттық және геологиялық жағдайларда тиімді.

Қолданылатын елдер: АҚШ, Чили, Қытай, Өзбекстанда кейде.

**Жанамалау әдісі**

Жанамалау әдісі сирек кездесетін 5-ші әдіс.

Мыс, фосфорит, алтын кендерін өңдеу кезінде уран қосымша өнім ретінде алынуы мүмкін.

Артықшылықтары: Қосымша шығын кен өндірісін тиімді етеді

Кемшіліктері: Уран мөлшері аз, өнімді көлемі тұрақсыз. кен түріне байланысты

Қолданылатын елдер: Марокко, АҚШ, Ресей

**ҚОРЫТЫНДЫ**

Қорытындылай келе, уран өндіру өнеркәсібін дамыту-елдің экономикалық тұрақтылығы мен энергетикалық қауіпсіздігін қамтамасыз ететін маңызды бағыт.

Дұрыс басқарылған дағдайда бұл сала экономиканы күшейтеді, экспортты арттады, энергия қауіпсіздігін қамтамасыз етеді, жаңа технологияларды дамытады.

Экономикалық тұрғыдан алғанда, уранды ішкі қажеттіліктерге пайдалану маңызды пайда әкелуі мүмкін. Өлемдік нарыққа шикізат сатудан Қазақстан үлкен табысқа ие болғанымен, уран бағасының тұрақсыздығы елдің ұзақ мерзімді экономикалық тұрақтылығына қауіп төндіреді.

Атомдық қуат көздерін дамыту және уранды басқа салаларда кеңінен қолдану арқылы экономикамызды әртараптандырып, қосымша құн тудыратын өнімдер шығару мүмкіндігіне ие боламыз. Шикізатты экспорттаудан гөрі, Қазақстан уранды байытып, дайын ядролық отынды өндіре отырып, әлдеқайда көп пайда табуы мүмкін.

**ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ**

1. Б.В.Громов. Уранның химиялық технологиясына кіріспе, Алматы, 2004
2. Интернет желісі
3. Бугенов Е.С., Василевский О.В. Уранның химиялық концентратын алудың физика - химиялық негіздері. Алматы, 2006.

## ОБЗОР ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ УРАНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

А.К. Омарова<sup>1</sup>, Ю.Г.Перменев<sup>1</sup>, М.В. Коптелов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ТОО «Институт высоких технологий», Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>НИЯУ «МИФИ», Москва, Россия

### АННОТАЦИЯ

Стратегическая роль урана в мировой энергетике усиливается на фоне роста потребности государств в низкоуглеродной генерации и расширения использования атомной энергии. Для Казахстана, как лидера в добыче урана, ключевым становится обеспечение устойчивости уранодобывающего сектора в условиях роста потребности мирового рынка урана, усиления экологических требований и геополитических вызовов.

Цель исследования состоит в обзоре основных экономических и экологических факторов, влияющих на деятельность уранодобывающих предприятий в Казахстане.

Результаты исследования представляют практическую ценность для формирования мер по обеспечению устойчивого развития уранодобывающего комплекса Казахстана и могут быть использованы при разработке отраслевых программ, экологической политики и составлении карты рисков.

### SUMMARY

The strategic importance of uranium in the global energy sector is increasing as countries expand low-carbon electricity generation and enhance the role of nuclear power. For Kazakhstan, a leading uranium-producing nation, ensuring the stability of the uranium mining sector is becoming crucial amid rising global demand for uranium, tightening environmental standards, and emerging geopolitical challenges.

The aim of this study is to examine the key economic and environmental factors influencing the performance and sustainability of uranium mining enterprises in Kazakhstan.

The findings of the research provide practical value for developing measures to support the sustainable growth of Kazakhstan's uranium mining industry and can be applied in the formulation of sectoral development programs, environmental policies, and risk assessment frameworks.

В эпоху мирового роста потребности стран в электроэнергии и глобальных инициатив в области «зеленой энергетике» урановые ресурсы стали важнейшим компонентом для достижения устойчивого развития и производства чистой энергии. Казахстан занимает лидирующие позиции среди мировых производителей природного урана, обеспечивая более 20% мировой добычи.

Ужесточение экологических стандартов, глобальная климатическая повестка и геополитическая ситуация в мире, оказывают влияние на устойчивость уранодобывающей отрасли во всем мире. Учитывая, потребность страны в развитии атомной энергии, в Казахстане планируется строительство трех АЭС, что в долгосрочной перспективе приведет также к внутренней потребности в урановой продукции.

В связи с этим, актуально провести обзор основных экономических и экологических факторов, влияющих на деятельность уранодобывающих предприятий в Казахстане.

Добыча урана в Казахстане ведется методом подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) дочерними предприятиями АО «НАК «Казатомпром» (Казатомпром). Казатомпром владеет 14 добывающими предприятиями на 27 урановых месторождениях в Казахстане [1]. Метод ПСВ применяется в качестве сбалансированного подхода благодаря сравнительно низким капитальным затратам, высокой эффективности извлечения и экологичной технологии.

**Экономические факторы.** Основным существенным экономическим фактором является колебания мировых цен на урановую продукцию, когда динамика спроса и предложения на глобальном рынке напрямую влияет на доходность уранодобывающих компаний. Так, спотовые цены на уран, достигшие 14-летнего максимума в феврале 2024 года, сейчас составляют около 82 долларов за фунт [2], тогда как цены на долгосрочные контракты у каждого оператора свои.

По данным Всемирной ядерной ассоциации году наибольшую долю урана по итогам 2024 года добыл Казахстан (39% от мировых поставок), за ним следуют Канада (24%) и Намибия (12%) [3].

Международное энергетическое агентство прогнозирует, что мировая выработка атомной энергии может удвоиться к 2050 году, что требует соответствующего увеличения поставок топлива [3].

Согласно докладу Всемирной ядерной ассоциации [4], поддержание и наращивание мирового производства урана в долгосрочной перспективе возможно только при постепенном вовлечении в работу новых месторождений урана, т.к. вклад действующих рудников постепенно сокращается после 2030 года.

В соответствии с основными выводами, изложенными в «Красной книге» [5]: до 2050 года и в последующий период, запасов урана в мире будет достаточно, как для постоянного использования ядерной энергии, так и для значительного роста. Однако, чтобы обеспечить необходимое количество урана на рынке, понадобятся своевременные инвестиции в новые геологоразведочные работы, добычу и технологии переработки.

К основным факторам, влияющим на деятельность уранодобывающих предприятий в Казахстане также относится зависимость от инфраструктуры и логистики. Метод ПСВ требует значительных объемов серной кислоты, что уве-



личивает зависимость от стабильности поставок данных ресурсов. Возможные перебои с поставкой кислоты могут привести к нарушению графика добычи на предприятии, а рост цен на серную кислоту может негативно повлиять на прибыль. Развитие инфраструктуры и альтернативных маршрутов поставок, создание устойчивых цепочек поставок серной кислоты снижает риски перебоев. Реализация проекта по строительству завода по производству серной кислоты в Казахстане стало важной инициативой для обеспечения внутреннего рынка, снижения фактора зависимости от импорта кислоты [1].

Зависимость от геополитической ситуации: политическая нестабильность или введение международных санкций влияют отразиться на деятельность Казатомпрома. В целях нивелирования риска недоступности северного транспортного маршрута с 2018 года Казатомпром имеет разрешение на транзит урана по Транскаспийскому международному транспортному маршруту. Диверсификация маршрутов позволяет избежать зависимости от одного транспортного коридора, снижая риски, связанные с политическими или экономическими ограничениями на северном маршруте [1].

**Экологические факторы.** В работах многих авторов рассматриваются экологические факторы при добыче и переработке урановых руд в различных странах и предлагаются новые подходы для решения. Основными экологическими аспектами деятельности предприятий при добыче и переработке урана являются риски загрязнения подземных вод, истощение водных ресурсов, образование радиоактивных и не радиоактивных отходов, а также воздействие на биоразнообразие.

Исследования по моделированию миграции ионов при методах ПСВ освещаются в работах многих авторов [6,7]. Метод ПСВ считается высокоэффективной технологией добычи полезных ископаемых, что максимально предотвращает возможности утечки реагентов в подземные водоносные горизонты. Постоянные наблюдения - оперативный мониторинг и контроль за состоянием подземных вод позволяет своевременно выявлять возможные риски и принимать оперативные меры. Поэтому важно прогнозировать влияние процесса добычи на качество подземных вод в регионе недропользования.

Использование больших объемов воды для выщелачивания урана может являться экологически фактором воздействия на местные водные ресурсы, что особенно критично в засушливых регионах Казахстана, где создается конкуренция за ресурсы между промышленностью, сельским хозяйством и населением. Так в 2024 году общее количество забираемой воды увеличилось на 3,1% по сравнению с 2023 годом, что связано с увеличением объемов добычи урана. Оптимизация и повторное использование воды и реагентов, применение технологий замкнутого цикла и эффективных методов выщелачивания снижает нагрузку на водные ресурсы, а также уменьшает количество сточных вод. Управление водными ресурсами в Казатомпроме проводится согласно Стратегии на 2023-2030 годы, добычные предприятия используют в своей деятельности план мероприятий по сокращению расходов и рациональному использованию водных ресурсов [1].

Хотя метод ПСВ считается более экологичным, чем традиционные способы добычи, он всё же приводит к образованию отходов. Основным отходом уранодобывающих предприятий является не радиоактивный буровой шлам (более 90% от общего объема всех отходов), образующийся в процессе бурения технологических скважин. Обзор литературных данных, показал, что многие исследования посвящены способам утилизации бурового шлама от деятельности нефтедобывающих предприятий, в том числе получение техногенных грунтов для биологического этапа рекультивации нарушенных земель и воздействие буровых отходов на почвенный и растительный покров [8, 9].

В аспекте циркулярной экономики, базирующейся на принципах повторного использования, наиболее целесообразным является переработка шламов бурения в почвогрунты, с целью повторного использования в качестве вторичных ресурсов для ремедиации территории на стадии ликвидации последствий недропользования, когда потребуется большое количество чистого грунта [10].

Одним из экологических аспектов является воздействие деятельности любых предприятий на биологическое разнообразие данного региона. Нарушение экосистем в районах добычи может привести к сокращению биоразнообразия и это особенно важно для степных регионов Казахстана, где обитают редкие и эндемичные виды. Для снижения воздействия на экосистемы предприятия проводят экологические исследования, включая восстановление нарушенных ландшафтов и поддержку биоразнообразия. В Казатомпроме реализуются экологические проекты и публикуется воздействие на биоразнообразие, внесенных в Красную книгу Международного союза охраны природы (МСОП) и Красную книгу Республики Казахстан, где они классифицированы как находящиеся под угрозой исчезновения [1].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обзор основных экономических и экологических факторов, влияющих на деятельность добычи урана в Казахстане показала, что метод ПСВ, обеспечивает высокую эффективность, низкие капитальные затраты и сравнительно меньшую экологическую нагрузку. Однако уранодобывающая отрасль во многом зависит от состояния глобального рынка урана и колебаний цен. К значимым факторам относится также обеспечение стабильных поставок серной кислоты, развитие транспортной инфраструктуры и снижение геополитических рисков путём диверсификации маршрутов экспорта.

Экологические аспекты деятельности предприятий связаны в основном с рисками загрязнения и истощения подземных вод, образованием отходов, а также воздействием на биоразнообразие. Несмотря на экологические преимущества метода ПСВ, для предотвращения негативных последствий требуется постоянный мониторинг состояния подземных вод, оптимизация водопотребления, а также переработка бурового шлама в техногенные почвогрунты для рекультивации нарушенных территорий.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Интегрированный годовой отчет АО «НАК «Казатомпром» за 2024 год. Annual Report 2024 - [Электронный ресурс].- <https://www.kazatomprom.kz>
2. Uranium Contract Prices Hit 16-Year Highs, Plus Major Market Development [Электронный ресурс].- <https://carboncredits.com/uranium-contract-prices-hit-16-year-highs-plus-major-market-development>
3. World Nuclear Association. [Электронный ресурс]. - <https://world-nuclear.org/information-library>
4. World Nuclear Association. Uranium Markets [Электронный ресурс]. - <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/uranium-resources/uranium-markets>
5. Nuclear Energy Agency. Uranium 2024: Resources, production and demand, NEA No. 7683, OECD 2025 [Электронный ресурс]. -<https://www.oecd-nea.org/>
6. Назира М., Тошназаров А., Мухаммадиев А. Экологические последствия добычи урана методом подземного выщелачивания и оценка влияния радионуклидов на окружающую среду // Евразийский Союз Ученых. - 2020. - Т.7, №11(80).- С. 7-12.- [Электронный ресурс]. - <https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2020.7.80.1138>
7. Бин Ван, Юэ Ло, Цзиньхуэй Лю, Сюнь Ли, Чжи-хун Чжэн, Цяньцян Чэнь, Ляо Ли, Хуэй Ву, Цижэнь Фань. Миграция ионов при подземном выщелачивании (ПВКЛ) урана: полевые испытания и моделирование реактивного переноса Журнал гидрологии, Том 615, Часть А, 2022. - [Электронный ресурс]. - <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128634>
8. Гаевая, Е.В. Экологическая оценка буровых шламов и разработка способа их биоремедиации: монография / Е.В. Гаевая, С.С. Тарасова, Л.В. Рудакова. – Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2024. – 96 с. [Электронный ресурс]. - <https://www.gausz.ru/nauka/setevyeizdaniya/2024/gaevaya.pdf>
9. Утилизация буровых отходов с получением рекультивационного грунта и строительных материалов / И.А. Гузев, А.В. Елькин, И.С. Глушанкова, А.А. Сурков // Химия. Экология. Урбанистика. – 2020. – Т. 2020-1. – С. 74-78.
10. Панова Е.Н., Кайрамбаев С.К., Перменев Ю.Г., Омарова А.К. К вопросу утилизации буровых шламов при ликвидации последствий недропользования на уранодобывающих предприятиях АО «НАК «Казатомпром» // Развитие урановой и редкометальной промышленности: сб.докл. XI Международной науч.-практич. конф., Алматы, 2024.- С.183-186.

УДК 550.3

**«ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗИРОВАННОГО 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ПО ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ  
НА УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ШУ-САРЫСУСКОЙ ПРОВИНЦИИ»**

**Әсірбек Н.Ә.**

АО «Волковгеология», филиал «ЦОМЭ» Алматы, Казахстан

**АННОТАЦИЯ**

В статье рассматриваются методологические и прикладные аспекты построения синтезированной 3D физико-геологической модели урановорудных горизонтов мезо-кайнозойских отложений Шу-Сарысуской депрессии (северный узел). Основой моделирования послужил комплекс геолого-геофизических и геохимических данных, включающий результаты геофизических исследований скважин (КС, ПС, ГК), лабораторные исследования керн, а также фондовые и опубликованные материалы. Выполнено статистическое обобщение петрофизических параметров рудных и безрудных горизонтов, определены диапазоны изменения физических полей и их связь с литолого-фациальными и геохимическими характеристиками пород. Особое внимание уделено влиянию карбонатности и глинистости на показания ГИС и интерпретацию урановорудных тел. Разработан подход к интеграции разнородных геоданных в единую синтез-модель, отражающую пространственное распределение фильтрационно-емкостных, электрических и радиометрических свойств. Полученные результаты демонстрируют информативность 3D-моделирования для уточнения морфологии рудных тел, прогноза урановорудных горизонтов и повышения эффективности геологоразведочных работ в пределах Шу-Сарысуской урановорудной провинции.

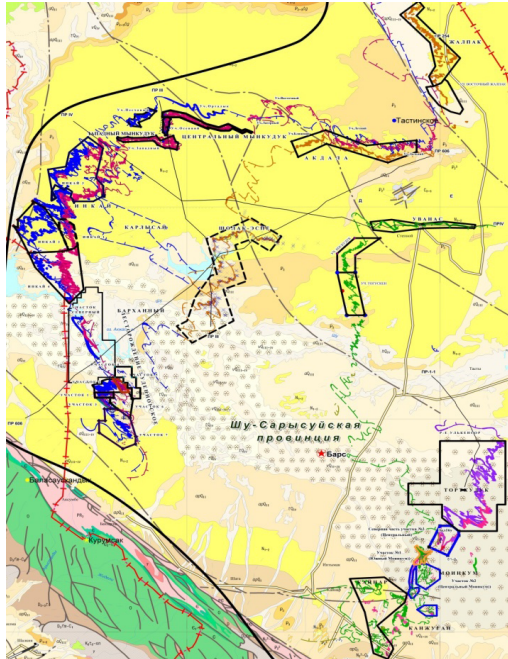
**Ключевые слова:** Шу-Сарысуская депрессия, урановые месторождения, ГИС, петрофизика, 3D-моделирование, синтез-модель.

**ВВЕДЕНИЕ**

Шу-Сарысуская урановорудная провинция является одной из крупнейших уранодобывающих территорий Казахстана, приуроченной к мезо-кайнозойским осадочным структурам депрессионного типа. Урановые месторождения инфильтрационного типа характеризуются сложным литолого-фациальным строением, высокой изменчивостью геохимических и фильтрационно-емкостных свойств, что обуславливает необходимость применения комплексных методов интерпретации. В этих условиях синтезированное 3D-моделирование на основе геолого-геофизических данных является эффективным инструментом для изучения урановорудных горизонтов и повышения достоверности прогнозных построений.

Складчатый фундамент месторождения залегает на глубине 2-3 км и представлен терригенно-кремнистыми кембрийскими и ордовикскими образованиями с внедрениями раннепалеозойских базитов и габбро-диоритов. Под рыхлым чехлом находится субплатформенный осадочный комплекс на глубине 220-450 м, где в восточной части месторождения (участки Восточный, Лагерный) выявлены крас-

но- и пестроцветные песчаники, конгломераты, алевролиты и доломитизированные известняки бестюбинской свиты, а на крыльях – сероцветные известняки и песчаники с размывом, перекрытые джезказганской свитой. На остальных участках под мелом распространены выветрелые бурые и коричневые алевролиты, аргиллиты и песчаники жиделисайской свиты.



Масштаб 1:500 000

Рисунок 1 - Геологическая карта Шу-Сарысуйской депрессии

Позднемеловые горизонты – мынкудукский, инкудукский и жалпакский – образуют ключевые рудовмещающие комплексы. Мынкудукский горизонт, основной рудовмещающий слой, сформирован в аллювиальной системе с северо-восточной и близмеридиональной ориентировкой потоков. Он характеризуется двухцикловой структурой: нижний подгоризонт представлен сероцветными гравийными песками и пойменными глинами, верхний – мелкозернистыми песками с линзами алевролитов. Мощность горизонта колеблется от 30-40 м на востоке до 60-70 м на западе.

Инкудукский надгоризонт залегает с размывом на мынкудукском и отличается грубообломочным составом с преобладанием зеленовато-белесых маложелезистых песков. Он формирует два типа разреза: с галечно-гравийными пачками 50-80% и мелко-среднезернистыми песками до 80%. Общая мощность увеличивается с востока на запад от 50-60 до 100 м. Жалпак-

ский надгоризонт представляет единый осадочный макроцикл с преобладанием песчаных аллювиальных образований, подвергшихся поверхностному и грунтового окислению дат-раннепалеоценового возраста и последующей редукции в условиях эоценового моря.

Палеогеновые горизонты (уванасский, уюкский, иканский, интымакский) представлены чередующимися песчано-глинистыми и глинистыми толщами, мощность которых изменяется от 10-12 м (уванасский) до 80 м (интымакский). Завершают красно-бурые и кирпично-красные глины бетпақдалинской и тогускенской свит, а также локальные четвертичные отложения (рисунок 1).

## МЕТОДИКА

Синтезированное 3D-моделирование геолого-геофизических данных является эффективным инструментом для оценки урановых месторождений, особенно

при их обработке методом кислотного выщелачивания (ПВ). В таких условиях геофизические исследования скважин (ГИС) являются основным и зачастую единственным источником информации о геологическом разрезе и характеристике уранового оруденения. ГИС основаны на изучении естественных и искусственных физических полей во внутрискважинном, окоლოსкважинном и межскважинном пространстве. Они позволяют изучать геологический разрез по всему стволу скважины, выявлять рудные интервалы, определять мощность, средние содержания урана и стволовые запасы, детально исследовать фациально-литологическое строение горизонтов, оценивать техническое состояние скважин, контролировать полноту извлечения металла и оценивать ущерб недрам.

Физические свойства пород участка характеризуются низкой магнитной восприимчивостью ( $3-16 \cdot 10^{-6}$  ед. СГС) и незначительной дифференциацией по плотности ( $2,58-2,79$  г/см<sup>3</sup>), что делает гравиметрическую съёмку неэффективной. Кажущееся удельное электрическое сопротивление ( $\rho_k$ ) изменяется в широких пределах: руды –  $0,1-10$  Ом•м, вмещающие породы –  $200-7\ 000$  Ом•м, алевролиты –  $50-200$  Ом•м.

Длительный опыт применения метода гамма-каротажа при разведке и эксплуатации эндогенных месторождений урана, обрабатываемых горным способом, показал его достаточную надежность. Вместе с тем, применение этого метода на месторождениях пластового окисления, обрабатываемых методом подземного выщелачивания, представляется не столь успешным – значения расчетных “извлекаемых запасов”, получаемых при интерпретации данных гамма-каротажа, оказываются систематически на 15-20% ниже по сравнению с фактически добытыми. Особое место в ГИС занимает гамма-картаж в интегральной модификации, основанный на регистрации гамма-излучения естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ). Измеряемая величина – скорость счета гамма-квантов (имп/м), расчетная – мощность экспозиционной дозы (МЭД, мкР/ч). Метод позволяет определять параметры рудных тел, фиксируя изменения радиоактивности пород по стволу скважины. Суммарная интенсивность гамма-поля почти полностью отражает радиоактивность горных пород, так как вклад раствора, обсадной колонны и цемента невелик и относительно стабилен.

Интерпретация электрокаротажных данных проводилась на двух уровнях. Качественный уровень обеспечивал литолого-стратиграфическое расчленение разреза скважин, определение стратиграфических границ и идентификацию геофизических параметров для пород определённого литологического состава. Для надрудной толщи, бурившейся бескерновым способом, данные электрокаротажа корректировались по опорным скважинам с керном. Количественный уровень включал определение послонных коэффициентов фильтрации (КФ) пород, рассчитанных с использованием нормированного удельного сопротивления  $\rho_k$  среднезернистого песка – преобладающего литологического типа, выделяемого по электрокаротажным кривым (рисунок 2). Такой подход обеспечивает точное определение фильтрационной способности независимо от литологической изменчивости горизонтов.

Осадочные бассейны представлены песчано-глинистыми отложениями мезозоя-

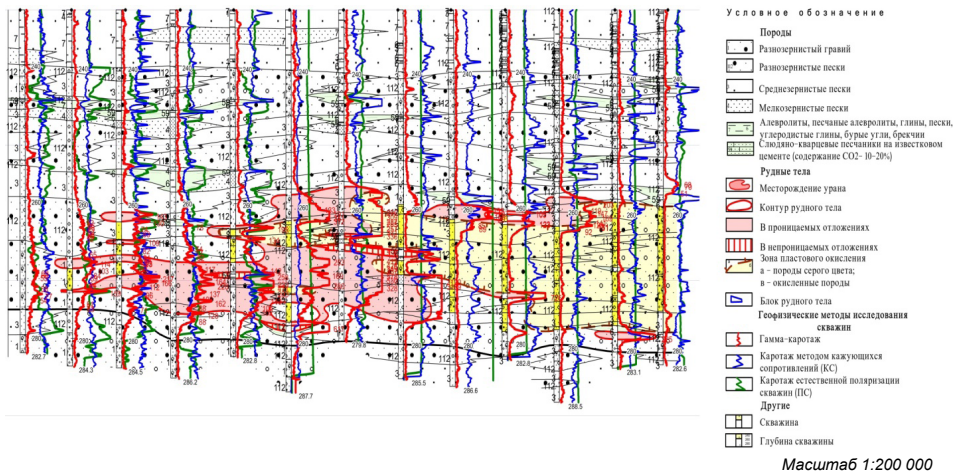


Рисунок 2 - Литолого-фациальный разрез по разведочным скважинам на урановом месторождении XX с выделением геофизические исследования скважин (КС, ПС, ГК) данных

кайнозоя, содержащими урановую минерализацию «подковообразного» (roll-front – завал фронта окисления-восстановления) типа. Тип «roll-front» урановых залежей располагаются в песчаниках с хорошей проницаемостью. При этом текстура осадков, чередование песков и глин, а также наличие карбонатов и органики контролируют местоположение фронта, интенсивность осаднения и современные технологические характеристики. Например, в Шу-Сарысуском регионе 6 песча-

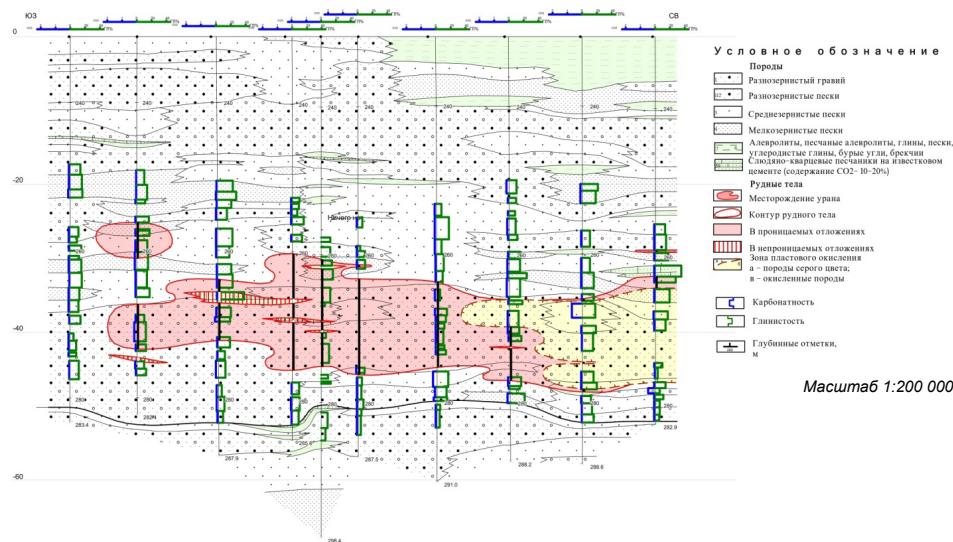


Рисунок 3 - Литолого-фациальный разрез выделение карбонатности, глинистости по лабораторным исследования

но-глинистых последовательностей с песками толщиной 50-70 м, разделёнными малопроницаемыми глинистыми прослоями.

Глинистость и карбонатность урановых горизонтов имеют ключевое значение как для геологического понимания их генезиса и локализации, так и для технологий подземного скважинного выщелачивания (ПСВ). Рост содержания глинистых и карбонатных минералов увеличивает кислотоёмкость пород и снижает проницаемость как пластовых вод, так и выщелачивающих растворов. Например, добавление 10% бентонита к кварцевому песку снижает его водопроницаемость в 10 000 раз.

В Казахстане глинистость и карбонатность урановых пород определяются преимущественно лабораторно по технологическим пробам, тогда как большинство геологических и технологических задач решаются оперативнее с использованием каротажных методов. Для расчёта фильтрационных свойств в нефтегазовых пластах применяют гамма-каротаж (ГК), учитывающий высокую радиоактивность глин. Однако радиометрические методы неприменимы к урановым горизонтам. Необходим анализ других физических свойств пород и установление количественных связей между глинистостью, карбонатностью и диаграммами физических полей. Разработка информативных критериев каротажа требует оценки контрастов акустических и электрических свойств пород, определяющих чувствительность приборов к изменению минералогического состава.

Состав глин не является постоянным. Основу глин составляют глинистые минералы, но в ней также присутствуют примеси, влияющие на конечный химический состав. Глинистые минералы песков рудного горизонта в изучаемых пробах технологического профиля представлены каолинитом и монтмориллонитом в разных количественных соотношениях. Диапазон показателей глинистости уранового горизонта составляет от 2,9 до 45%, среднее значение –  $12,14 \pm 1,31$ , стандартная ошибка среднего (SE)  $\approx 0,66$ .

Карбонаты в пробах представлены доломитом, кальцитом. По результатам химического анализа содержание  $CO_2$  составляет от  $<0,10$  до  $0,25\%$  (таблица 1). Агрегатные стяжения различного состава присутствуют в составе гравийно-песчаных классов песков пробы № Y1 и Y4. Средне-, мелкозернистые фракции песка содержат агрегатные стяжения обломочных зерен на карбонатном цементе, многочисленные агрегатные стяжения карбонат-глинистого состава.

Выбор информативных электрических и сейсмических методов каротажа для оценки глинистости и карбонатности песчаных урановых горизонтов предполагает подготовку физико-геологических основ их применения путем выявления дифференциации изучаемых пород по электрическим свойствам и плотности (скорости распространения сейсмических волн). Песчаная среда с 15% воды имеет значительно меньшее удельное электрическое сопротивление (УЭС, Ом\*м) чем сухой песок. При этом присутствие карбонатов на уровне 10% слегка повышает сопротивление по сравнению с чистым влажным песком, компенсируя часть снижения, вызванного водой. По такой же закономерности за счёт карбонатов умеренно снижаются показания электрохимической активности, поляризуемости, диэлектрической проницаемости (таблица 1).

Анализ материалов по влиянию глинистости и карбонатности на плотность песков при  $W = 15\%$  показали, что они суммарно в целом увеличивают показатели плотности. Влияющими факторами являются их роли нахождения в песках. Например, если глины ( $\approx 12\%$ ) выполняют роль “заполняющего” материала между зёрнами песка, то они увеличивают плотность больше, чем карбонаты ( $\approx 10\%$ ), обладая более высокой пористостью, снижают её.

Для построения 3D синтезированной модели используются данные бурения, геофизических каротажей (КС, ПС, ГК, ИК). Геометрия контуров руды и каркасов физических свойств определяется по стратиграфическим границам и интерпретируемым литологическим переходам. Контур блоков формируются с учетом горизонтальных и вертикальных вариаций мощности, что позволяет создать реалистичную структурную основу для последующего моделирования физических свойств пород.

**Таблица 1 – Влияние глин, карбонатов на электрические характеристики песков**

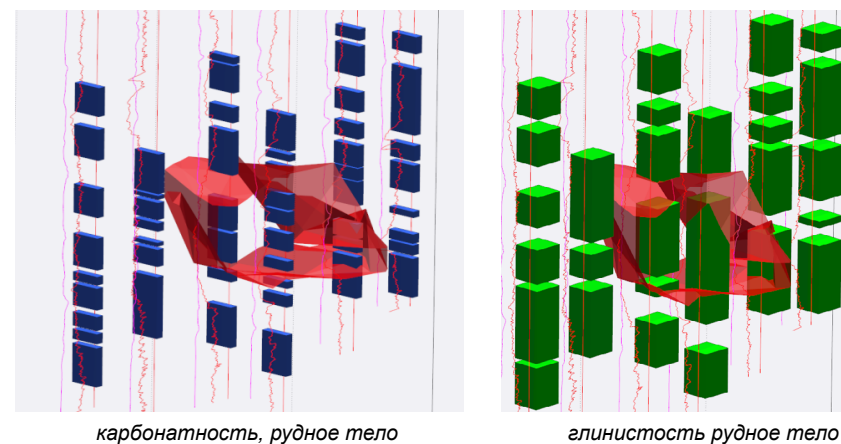
№	Свойство	*Пески разнозернистые, естественная влажность 15%	Влияние	
			Глин, 12.14%	Карбонатов, 10%
1	Тип проводимости	Электролитическая (по порам с водой)	Ионная (по плёнкам связанной воды)	Электролитическая (по воде в трещинах/кавернах)
2	Зависимость от влажности	Сильная	Слабая	Очень сильная
3	Удельное электрическое сопротивление, Ом•м	7.8 (6.6-10,1) – по данным каротажа сопротивления (КС)	+ 10-30%	+ 5-15%
4	Электрохимическая активность	+ заметное	+ 5-15% или - умеренное	- умеренное
5	Поляризуемость, %	+ заметное	+ до 30%	- умеренное
6	Диэлектрическая проницаемость	+ до 25%	+ до 20%	- умеренное

Следующий этап – построение литологических блоков, в котором породы классифицируются по фациям и минералогическому составу. Здесь выделяются зоны с преобладанием карбонатных, глинистых или песчаных слоев. Классификация основывается на каротажных данных и лабораторных анализах керна, включая содержание карбонатов и глинистых минералов, а также результаты гранулометрического анализа. Литологические блоки формируются в трехмерной сетке, обеспечивая пространственное согласование с ранее построенной структурной моделью. Этот шаг критически важен, поскольку позволяет задать базовую геологическую неоднородность и подготовить основу для количественного распределения свойств.

На этапе моделирования свойств применяются геостатистические методы, в частности Sequential Gaussian Simulation (SGS), для стохастического прогноза

распределения карбонатности, глинистости и гранулометрии в трехмерном объеме. Создается сетка блоков с типовыми размерами  $10 \times 10 \times 2$  м, что обеспечивает баланс между детальностью и вычислительной эффективностью. В процессе моделирования проверяется корреляция между параметрами: карбонатность и глинистость, как правило, демонстрируют обратную зависимость, а гранулометрические характеристики связаны с пористостью и потенциальной проницаемостью пород. Моделирование учитывает локальные вариации и неоднородность, позволяя формировать реалистичное распределение свойств, необходимое для прогноза зон минерализации.

Завершающий этап – визуализация модели с использованием современных программных пакетов MicroMine. Отображаются трехмерные распределения карбонатности, глинистости и гранулометрии, выявляются зоны с высокой концентрацией карбонатов, глин (рисунок 4) и крупных песчаных фракций. Визуализация позволяет не только наглядно оценить пространственное распределение свойств, но и выявить перспективные участки для разведочного бурения и последующей добычи урана.



**Рисунок 4 - 3D моделирование в разрезе**

**Карбонатность** Рудам свойственна низкая карбонатность (содержание  $\text{CO}_2$  менее 2%) при инертном, труднорастворимом составе основной массы породообразующих минералов и высокорастворимой рудной минерализации.

**Глинистость** Породы горизонта накапливались преимущественно в условиях субаквальных межрусловых фаций, в окислительных или переходных средах и потому характеризуются повышенной глинистостью, снижением проницаемости и водопроницаемости, низкими восстановительными свойствами.

**Гранулометрия** характеризуется преобладанием крупных песчаных частиц в отдельных литологических блоках, что соответствует зонам повышенной пористости и потенциальной проницаемости. Эти участки могут быть локальными путями миграции урановых растворов, способствуя концентрации урана. Распределение

гранулометрических фракций коррелирует с карбонатностью и глинистостью: зоны с крупными частицами обычно находятся в пределах карбонатных фаций, тогда как зоны с мелкой фракцией совпадают с глинистыми включениями.

Визуализация 3D-модели позволяет наглядно представить взаимосвязь этих свойств, выявить наиболее перспективные участки для бурения и оценить геологическую неоднородность, обеспечивая основу для планирования разведочных и эксплуатационных работ (рисунок 5).

Основное наблюдение заключается в обратной зависимости карбонатности и глинистости: зоны с высокой карбонатностью характеризуются низкой глинистостью и высокой пористостью, тогда как глинистые участки формируют барьеры для миграции растворов урана. Такая пространственная взаимосвязь позволяет более точно прогнозировать распределение минерализации.

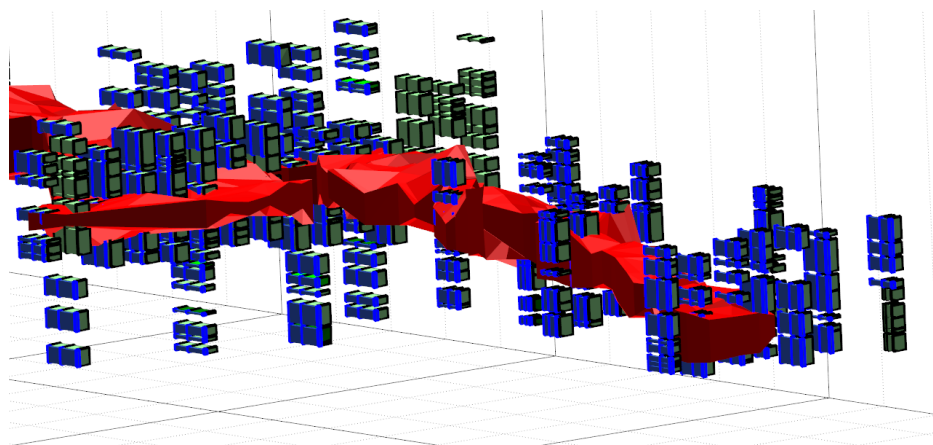


Рисунок 5 - Синтезированная 3D модель – карбонатность и глинистость, рудное тело урановорудные горизонты по всему участку

Гранулометрические характеристики дополнительно уточняют прогнозы: крупные песчаные фракции способствуют локальной повышенной проницаемости, что влияет на перемещение подземных вод и потенциальную концентрацию урана. Включение гранулометрии в 3D-модель позволяет не только идентифицировать перспективные зоны, но и оценить механизмы миграции и аккумуляции урановых минералов.

Применение стохастического моделирования обеспечивает учет локальной вариативности свойств и уменьшает погрешность прогнозов по сравнению с детерминированными подходами. Sequential Gaussian Simulation позволяет создавать несколько реализаций распределения свойств, выявлять зоны неопределенности и оценивать степень вероятности минерализации.

Интеграция структурных и литологических данных с петрофизическими свойствами (карбонатность, глинистость, гранулометрия) формирует основу для комплексного

анализа пластов и способствует оптимизации разведочных мероприятий. Модель также служит инструментом для визуализации взаимосвязей между физико-химическими свойствами пород и геологической структурой, что особенно важно при планировании бурения и оценке запасов.

Заключение. Методика интегрирует структурные, литологические и петрофизические данные, что обеспечивает основу для комплексного анализа пластов, прогноза зон минерализации и оптимизации планирования бурения. Использование 3D модели позволяет не только оценить пространственное распределение карбонатности, глинистости и гранулометрии, но и выявить взаимосвязи между свойствами, влияющими на миграцию и концентрацию урановых минералов.

Таким образом, синтезированное 3D-моделирование является эффективным инструментом для комплексного изучения урановых месторождений и служит важным этапом в разведке и планировании разработки месторождений Шу-Сарысуской провинции.

## БЛАГОДАРНОСТЬ

Данная статья финансировалась Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках грантового финансирования молодых ученых по проекту «Жас ғалым» на тему AP25793737 «Совершенствование методики петрофизического обоснования интерпретации данных и повышения эффективности геофизических исследований скважин на урановых месторождениях экзогенного типа».

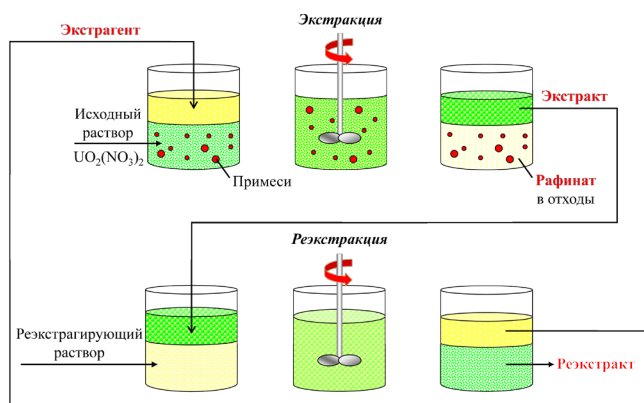
## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Петров Н.Н., Берикболов Б.Р., Аубакиров Х.Б., Вершков А.Ф., Лухтин В.Ф., Плеханов В.Н., Черняков В.М., Язиков В.Г. Урановые месторождения Казахстана (экзогенные). Издание второе. – Алматы, 2008. - 320 с.
- A. Sharapatov, N. Assirbek, A. Saduov, M. Abdyrov, B. Zhumabayev. (2024) Consolidated geological and geophysical characteristics of uranium deposit rocks and prospects for their utilization (Shu-Sarysu province, Kazakhstan). News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, «Halyk» Private Foundation, Series of geology and technical sciences, 6 (467), P. 210-229 ISSN 2518-170X (Online) <https://doi.org/10.32014/2024.2518-170X.471> (in English)
- Шарапатов А., Асирбек Н.А., Абдыров М.М., Садуов А.Б. Оценка фильтрационных свойств рудовмещающих пород по данным электрических методов каротажа (Шу-Сарысуская урановая провинция, Казахстан). «Университет еңбектері – Труды университета». НАО «Карагандинский технический университет им. А. Сагинова» (г. Караганда). ISSN 1609-1825 (Print) ISSN 2710-3382 (Online). №3 (96), 2024. стр. 105-111
- Асирбек Н.А., Шарапатов А., Садуов А.Б. Изучение свойств рудовмещающих пород по данным электрических методов каротажа (Шу-Сарысуская урановая провинция Казахстана). Издательский центр КБТУ, Алматы, ул. Толе би, 59 • 14 мая 2024 г.

## РЕГЕНЕРАЦИЯ ОТРАБОТАННОГО ЭКСТРАГЕНТА УРАНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА АО «УМЗ»

**Болтанов А.В., Корнилович М.В.,  
Романова К.Б., Адилбекова А.А., Байбекова Г.С.**  
АО «УМЗ», Усть-Каменогорск, Казахстан

В экстракционной технологии уранового производства АО «УМЗ» традиционно применяют в качестве экстрагента трибутилфосфат (ТБФ) в разбавителе. Состав разбавителей, за многолетний период работы действующей технологии претерпевал постоянные изменения и корректировался в соответствии с ассортиментом, имеющих место рыночных предложений. Обладая различным составом и физико-химическими свойствами, разбавители имеют разную чувствительность к радиоактивному и химическому воздействию перерабатываемых растворов и проявляют большую или меньшую способность к радиолиту и гидролизу.



Отработанная технология регенерации экстрагента, применяемая в настоящее время в урановом производстве, обеспечивает полноту извлечения продуктов разложения ТБФ и не рассчитана на глубокую регенерацию от продуктов разрушения разбавителей нового типа. Отсутствие возможности вывода продуктов разложения разбавителя, приводит к постепенному ухудшению экстракционных свойств экстрагента, вплоть до полной утраты его рабочих свойств. В АО «УМЗ» было накоплено значительное количество экстрагента с повышенным содержанием урана, регенерация которого, по существующей технологии карбонатной промывки невозможна. Для поиска способа извлечения урана из резервированного отработанного экстрагента на базе лаборатории урана Научного центра провели ряд исследований.

В связи с тем, что традиционная карбонатная промывка экстрагента, основанная на способности продуктов разложения ТБФ в присутствии карбоната натрия образовывать натриевые соли, с переводом последних в водную фазу не дает желаемого эффекта, опробовали прием извлечения урана из экстрагента посредством применения дополнительных комплексообразующих агентов.

В качестве комплексообразователя использовали раствор щавелевой кислоты. Было отобрано несколько проб из разных позиций. Пробу отработанного экстрагента обработали раствором  $H_2C_2O_4$  при комнатной температуре в делительной воронке методом ручного встряхивания. Исследуемые пробы в процессе промывки вели себя по-разному. В одних после деления образовывалось две фазы – водная и органическая. Наблюдение за процессом деления других показало формирование в органической составляющей смеси продуктов окисления с постепенным их уплотнением и переводом в твердую фазу. По окончании формирования, выделенные из экстрагента продукты разложения сконцентрировались в нижней части делительной воронки и легко были удалены из экстракционной системы. Время деления фаз не превысило 1 мин.

Второй контакт промывки органической фазы со свежим раствором дал возможность снизить концентрацию урана в органической фазе до сбросных концентраций.

Органическую фазу обработали раствором  $Na_2CO_3$  в две проточные ступени и проверили экстракционную пригодность регенерированного экспериментальным способом экстрагента. Тестирование показало полное восстановление его экстракционных свойств с обеспечением степени насыщения, близкой к теоретической и достижением требуемой полноты извлечения урана при реэкстракции.

Для проверки возможности интенсификации операции щавелевокислой промывки провели исследования по изучению влияния температуры, концентрации  $H_2C_2O_4$  и соотношения задействованных фаз на целевые показатели процесса. Указанные приемы не привели к более полной регенерации органической фазы, в связи с чем, опробованный режим промывки был признан оптимальным.

После проведения регенерации экстрагента образуются щавелевокислые растворы первого и второго контактов. Промывные растворы второго контакта, как показали результаты исследований, можно использовать циклично несколько раз, затем объединять с растворами первого контакта и направлять на операцию осаждения полиурата аммония (ПУА). При осаждении урана аммиачной водой из объединенных щавелевокислых растворов, в условиях лаборатории урана, получены разрешенные для сброса маточные растворы.

Отделенные на первой стадии щавелевокислой обработки продукты разложения экстрагента представляют собой текучую пластичную массу внешнего вида. После фильтрации, физическое состояние выделенных продуктов разложения преобразуется в рыхлый, легко отделяемый твердый осадок.

В связи с тем, что имеющее место содержание урана в осадках исключает возможность прямого захоронения, провели исследования по поиску способа их утилизации.

Прокаливание твердых продуктов разложения экстрагента при температуре протекало с образованием пламени. Для исключения воспламенения, образец твердого

продукта смешали с пастой ПУА и прокалили в течение часа. Термическое разложение твердой органической составляющей продуктов разложения экстрагента в составе смеси проходило без образования пламени и повышенного выделения газов.

Полученную закись-окись растворили. Азотнокислые урансодержащие растворы проверили на экстракционную пригодность. Тест на «эмульгируемость» показал отсутствие образования эмульсий, медуз и третьей фазы на границе раздела. Время разделения органической и водной фаз не превышало 2 минут.

Проведенный тест подтвердил возможность утилизации твердых продуктов разложения экстрагента посредством прокаливания в смеси с пастой ПУА с последующей переработкой закиси-оксида урана через растворение и экстракционный аффинажный процесс. Для подтверждения эффективности разработанного способа были проведены промышленные испытания.

Проведение настоящих промышленных испытаний позволило установить эффективность процесса отмывки отработанного экстрагента с применением щавелевокислого промывного агента. Реализованные поисковые исследования позволили разработать принципиально новый способ переработки отработанного экстрагента АО «УМЗ» с возможностью возврата регенерированного экстрагента в технологический экстракционный процесс.

## ВКЛАД ЛАБОРАТОРНОГО АНАЛИЗА СОДЕРЖАНИЯ УРАНА В БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ КАЗАХСТАНА

*Альжанова А.Ш., Даулетхан А.Ж.*  
ТОО «Семизбай-У», Астана, Республика Казахстан

### АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрена роль лабораторного анализа содержания урана в обеспечении безопасности, устойчивости и экономической эффективности атомной отрасли Республики Казахстан. Показано значение испытательных лабораторий на всех этапах уранового производственного цикла — от оценки сырьевой базы до получения готового уранового концентрата. Особое внимание уделено вопросам подготовки персонала, предотвращения лабораторных инцидентов и рационального использования реагентов как факторов повышения надёжности и конкурентоспособности отрасли.

**Ключевые слова:** уран, лабораторный анализ, испытательная лаборатория, атомная отрасль, безопасность, эффективность производства.



### ВВЕДЕНИЕ

Казахстан является мировым лидером по добыче урана и обеспечивает значительную долю его поставок на международный рынок. В условиях высокого уровня ответственности атомной отрасли вопросы безопасности, контроля качества и устойчивости производственных процессов приобретают стратегическое значение. Одним из ключевых элементов системы обеспечения безопасности является лабораторный анализ содержания урана, осуществляемый на всех стадиях производственного цикла — от геологоразведки и добычи до переработки и транспортировки продукции.

Добыча и переработка урана относятся к числу наиболее сложных технологических процессов, требующих строгого соблюдения регламентов и постоянного конт-



роля химического состава сырья, растворов, реагентов и промежуточных продуктов. В этих условиях испытательные лаборатории выступают важнейшим инструментом управления технологическими процессами и обеспечения качества продукции.

### 1. Значение испытательных лабораторий в урановом производстве



Рентгенофлуоресцентный анализ - определение содержания урана и примесей

Испытательные лаборатории выполняют функции непрерывного технологического мониторинга и контроля качества на всех стадиях переработки уранового сырья. Основные направления их деятельности включают анализ исходных рудных проб, контроль состава продуктивных, маточных и оборотных растворов, определение содержания урана, примесей и реагентов, а также контроль параметров кислотности, окислительно-восстановительного потенциала и температуры среды. Кроме того, лаборатории осуществляют контроль качества конечного уранового продукта.

Специфика уранового производства заключается в высокой чувствительности технологических процессов к изменениям химического состава растворов. Даже незначительные отклонения концентраций реагентов или параметров среды могут привести к существенному снижению степени извлечения урана. В связи с этим оперативность и точность лабораторных анализов имеют решающее значение для стабильности и надёжности производства.

### 2. Роль лабораторного контроля в оптимизации технологических процессов



Одной из ключевых стадий извлечения урана является выщелачивание, на котором формируется основная доля извлекаемого металла. Эффективность данной стадии напрямую определяет общий выход готовой продукции и экономические показатели предприятия.

Испытательные лаборатории осуществляют постоянный контроль концентрации урана в продуктивных

растворах, содержания серной кислоты или других выщелачивающих реагентов, концентрации окислителей, значений pH среды и уровня сопутствующих примесей. На основе полученных аналитических данных технологические службы могут оперативно корректировать режимы выщелачивания, регулировать расход реагентов, изменять скорость циркуляции растворов и предотвращать образование труднорастворимых соединений.

Таким образом, лабораторный контроль способствует повышению степени извлечения урана, снижению потерь и оптимизации расхода реагентов, что в конечном итоге повышает экономическую эффективность производства.

### 3. Обеспечение качества продукции и конкурентоспособности

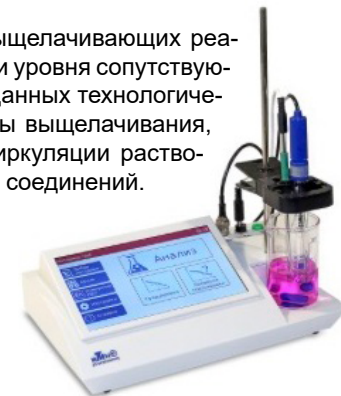
Лабораторный анализ играет ключевую роль в обеспечении качества конечного уранового концентрата. Испытательные лаборатории контролируют химический состав продукции и содержание примесей, что напрямую влияет на соответствие международным требованиям и стандартам.

Высокая точность аналитических методов, таких как спектрометрия, радиометрия и масс-спектрометрия, позволяет минимизировать погрешности измерений и обеспечивать стабильное качество продукции. Это повышает конкурентоспособность казахстанского урана на мировом рынке и укрепляет экспортный потенциал страны.

### 4. Обучение персонала испытательных лабораторий

Эффективная работа испытательных лабораторий напрямую зависит от уровня профессиональной подготовки персонала, соблюдения требований охраны труда и рационального использования ресурсов. Системное обучение сотрудников способствует снижению количества ошибок и лабораторных инцидентов, а также экономии реагентов и материалов.

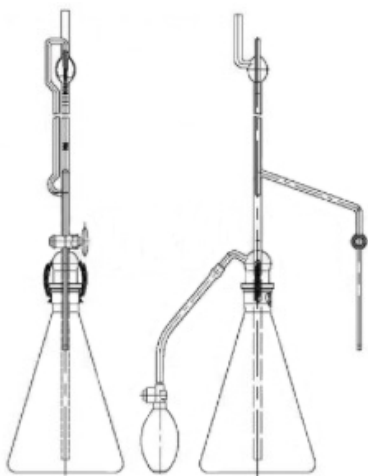
Первичное обучение персонала включает ознакомление с внутренними регламентами предприятия, инструктаж по охране труда и технике безопасности, обучение работе с лабораторным оборудованием и изучение опасных свойств химических веществ. Повышение квалификации осуществляется посредством регулярных курсов, тренингов, освоения обновлённых аналитических методик и внедрения современных технологий анализа. Важную роль играет формирование культуры безопасности и персональной ответственности за качество выполняемых исследований.



pH-метр - контроль кислотности растворов



## 5. Предотвращение лабораторных инцидентов и экономия реагентов



Титриметрический анализ - точное определение концентрации урана

Предотвращение лабораторных инцидентов является одним из приоритетных направлений деятельности испытательных лабораторий. Рациональная организация рабочих мест, исправное состояние оборудования, чёткая маркировка реагентов и соблюдение чистоты существенно снижают риск аварийных ситуаций.

Рациональное планирование лабораторных работ, точное дозирование реагентов, соблюдение условий их хранения и оптимизация закупок позволяют сократить расход химических веществ и снизить эксплуатационные затраты. Системный подход к анализу инцидентов и внедрению профилактических мер повышает устойчивость лабораторной деятельности и общую эффективность производства.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Испытательные лаборатории являются ключевым элементом системы обеспечения безопасности, устойчивости и экономической эффективности добычи и переработки урана. Их деятельность охватывает все стадии технологического процесса — от контроля выщелачивания до анализа готового уранового концентрата.

Развитие лабораторной базы, внедрение современных аналитических методов и повышение квалификации персонала способствуют снижению технологических рисков, повышению качества продукции и укреплению позиций атомной отрасли Казахстана на мировом рынке.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атомная энергия и урановая промышленность Казахстана / Под ред. В.И. Михайлова. – Алматы: КазАТК, 2018. – 320 с.
2. Ярмухаметов А.Б. Технология подземного скважинного выщелачивания урана. – Алматы: КазННТУ, 2016. – 256 с.
3. IAEA. Uranium Production Cycle: Environmental and Safety Issues. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2019. – 145 p.
4. IAEA. Analytical Quality Control Services in Uranium Mining and Processing. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2017. – 98 p.
5. Руководство по аналитическому контролю в урановом производстве. – М.: Атомиздат, 2015. – 210 с.
6. Козлов В.А., Смирнов Н.П. Аналитическая химия урана и трансурановых элементов. – М.: Химия, 2014. – 384 с.

7. ISO 17025:2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.
8. Санитарные правила и нормы Республики Казахстан «Радиационная безопасность». – Астана, 2020.
9. Сагындыков Е.С., Жумабаев Б.К. Контроль качества уранового концентрата на предприятиях ПСВ // Вестник атомной науки. – 2021. – № 2. – С. 45-52.
10. Кенжебаев М.К. Роль лабораторного контроля в повышении эффективности уранового производства // Горный журнал Казахстана. – 2020. – № 4. – С. 61-66.

СЕКЦИЯ:  
«ВОПРОСЫ РАДИОЭКОЛОГИИ,  
ГЕОФИЗИКИ»

**АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ В УРАНОДОБЫЧЕ:  
КОНТРОЛЬ СОДЕРЖАНИЯ УРАНА ТИТРИМЕТРИЕЙ И  
XRF КАК ОСНОВА РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

**Серікова А.Б.**  
ТОО «ДП «ОРТАЛЫҚ», Шымкент, Казахстан

**ПОЧЕМУ ВАЖЕН КОНТРОЛЬ УРАНА**

Уранодобывающая промышленность обеспечивает атомную энергетику сырьём, но при этом связана с воздействием ионизирующего излучения. Уран и продукты его распада присутствуют в руде, растворах, отходах и воздухе рабочих зон. Поэтому точное определение содержания урана – важная часть системы радиационной и промышленной безопасности.

Аналитическая химия позволяет контролировать концентрации урана на всех этапах производства и вовремя предотвращать потенциальные риски для персонала и окружающей среды.

**ИСТОЧНИКИ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ**

На предприятиях уранодобычи источниками излучения являются природные радионуклиды уранового ряда. Они содержатся:

- в руде и вскрышных породах;
- в технологических растворах и пульпах;
- в хвостохранилищах и отвалах;
- в воздухе рабочих помещений (радон и аэрозоли).

Наибольшее значение для контроля имеют уран, радий, радон и продукты его распада.

**ВИДЫ ИЗЛУЧЕНИЯ**

В процессе добычи и переработки урана встречаются:

- альфа-излучение — опасно при попадании радионуклидов в организм;
- бета-излучение — обладает большей проникающей способностью;
- гамма-излучение — основной источник внешнего облучения персонала.

**КТО ПОДВЕРГАЕТСЯ ОБЛУЧЕНИЮ**

По условиям работы выделяют:

- персонал, непосредственно работающий с урансодержащими материалами;
- работников, находящихся в контролируемых зонах;
- население за пределами промышленных площадок.

Для каждой категории установлены свои нормы и требования по радиационной защите.

## ОСНОВНЫЕ РАДИАЦИОННЫЕ РИСКИ

К ключевым факторам риска относятся:

- внешнее гамма-излучение от руды и материалов;
- вдыхание радона;
- попадание урансодержащей пыли в организм;
- контакт с загрязнёнными поверхностями.

Эти риски требуют постоянного контроля содержания урана и радионуклидов.

## ЗАЧЕМ НУЖНА АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Аналитические методы позволяют:

- точно измерять концентрацию урана;
- оценивать уровень потенциального облучения;
- контролировать технологические процессы;
- обеспечивать выполнение норм радиационной безопасности.

Без регулярного анализа невозможно безопасное и стабильное производство.

## ТИТРИМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Титриметрия — классический химический метод определения урана. Он основан на окислительно-восстановительных реакциях урана.

Преимущества:

- высокая точность при средних и высоких концентрациях;
- доступность и низкая стоимость;
- надёжность и воспроизводимость.

Ограничения:

- более длительный анализ;
- необходимость пробоподготовки;
- чувствительность к примесям.

Титриметрия чаще используется для лабораторного и контрольного анализа.

## РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗ (XRF)

XRF — быстрый и удобный метод, основанный на регистрации характеристического рентгеновского излучения элементов.

Преимущества XRF:

- результат за несколько минут;
- минимальная подготовка проб;
- неразрушающий метод;
- возможность полевых измерений;
- подходит для оперативного контроля.

Ограничения:

- зависимость от калибровки;
- влияние состава пробы;
- меньшая точность при очень низких концентрациях.

## КАКОЙ МЕТОД ВЫБРАТЬ

На практике используют оба метода:

- XRF — для быстрого и регулярного контроля;
- титриметрию — для точных измерений и проверки результатов.

Такой подход обеспечивает надёжный контроль и снижает радиационные риски.

## ИТОГ

Постоянный аналитический контроль содержания урана — основа радиационной безопасности в уранодобыче. Сочетание титриметрических методов и рентгенофлуоресцентного анализа позволяет эффективно управлять производственными процессами, защищать персонал и минимизировать воздействие на окружающую среду.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СОРБЦИИ БЕРИЛЛИЯ ИЗ СУЛЬФАТНЫХ РАСТВОРОВ

Горковенко А.В., Хлебникова И.А., Шестаков К.А.

АО «УМЗ», г. Усть-Каменогорск, Казахстан

### АННОТАЦИЯ

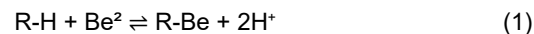
В данной статье рассмотрены процессы сорбции бериллия из сульфатных растворов. Исследовано влияние различных параметров, таких как pH среды, температура и тип сорбента бериллия на эффективность процесса. Проведены лабораторные эксперименты по определению основных параметров сорбционного концентрирования и аффинажа соединений бериллия. Определены оптимальные условия сорбционного процесса для эффективного извлечения бериллия из растворов.

**Ключевые слова:** бериллий, сорбция, ионит, обменная ёмкость, извлечение.

Бериллий – стратегически важный металл, используемый в атомной, авиационной и электронной промышленности. Процессы добычи и переработки бериллия включают в себя добычу бериллиевых руд, их обогащение и последующую гидрометаллургическую и пирометаллургическую переработку для получения соединений бериллия, связанные с экологическими и экономическими проблемами, что делает актуальным поиск эффективных методов его извлечения из различных технологических продуктов. Одним из наиболее перспективных способов является сорбция бериллия с применением ионитов хелатного типа, обеспечивающих селективное извлечение бериллия из сульфатных растворов.

На сегодняшний день разработаны различные технологии извлечения бериллия, включающих его осаждение, сорбцию и экстракцию. При этом, способы, основанные на сорбционном аффинаже, демонстрируют высокую эффективность при относительно низких энергозатратах и минимальном воздействии на окружающую среду [1].

Процесс сорбции бериллия на хелатных ионообменных смолах можно описать следующим уравнением:



Цель исследования заключается в разработке комплексного научного подхода к сорбционной переработке сульфатных растворов с определением оптимального типа сорбента и установления основных закономерностей процессов извлечения целевого компонента из концентратов бериллия с получением порошков гидроксида бериллия.

Известно, что выбор сорбента обусловлен не только его химической селективностью, но и физическими характеристиками, такими как размер пор, механическая прочность и регенерационная способность. Также на технологиче-

ские параметры сорбции оказывает влияние температура раствора, определяющая кинетическую модель сорбционного процесса и стабильность сорбента в условиях длительной эксплуатации [2].

Для реализации сорбционных процессов используется широкий круг материалов: неорганические сорбенты природного и искусственного происхождения (в том числе, хелатные смолы), экстракционно-хроматографические материалы, органические иониты. Хелатные смолы помимо ионообменных свойств обладают способностью образовывать комплексные связи с некоторыми ионами. Комплексообразующие иониты используются в основном для извлечения из растворов ионов цветных и тяжелых металлов, РЗЭ и актинидов. Наиболее распространены хелатные иониты с иминодиацетатными группами (Chelex 100, Dowex A1, CR-20, Lewatit TP207, Lewatit TP208, Purolite S930, Amberlite IRC 748).

При проведении данной работы в качестве объекта исследования использовались технологические сульфатные растворы бериллия, полученные по сульфатно-щелочной схеме. Ионообменное концентрирование и аффинаж бериллия проводились с использованием нескольких сорбентов:

- хелатных ионитов Puromet MTS9500 и Puromet MTS9570;
- сильноокислотного катионита КУ-2-8.

Оценка эффективности сорбции осуществлялась с использованием методов спектрофотометрии и атомно-абсорбционной спектроскопии.

В ходе исследований были изучены ключевые параметры сорбционного процесса, включая статическую обменную ёмкость сорбентов, а также кинетические закономерности сорбции.

Эксперименты проводились при варьировании технологических параметров: значения pH изменялись в диапазоне 3,0 – 5,5, температура – от 20 до 60°C, концентрация бериллия в исходных растворах составляла 1 г/л.

Дополнительно проведена оценка влияния продолжительности контактирования раствора с сорбентом на степень извлечения целевого элемента.

Статическая обменная ёмкость определялась согласно требованиям ГОСТ 20255.1-89 «Иониты. Статическая обменная ёмкость».

Пробу ионита массой 2,0 г помещали в стакан и добавляли исходный раствор, объемом 100 см<sup>3</sup>. По истечении заданного времени в фильтрате определяли содержание не сорбированных металлов и рассчитывали равновесную статическую обменную ёмкость по формуле:

$$E_{COE, г/см^3} = \frac{V_p * (C_{ucx} - C_{cbr}) * 100}{m * (100 - v) * V_{yd} * 1000} \quad (3)$$

$C_{ucx}$  – концентрация металла в исходном растворе, г/дм<sup>3</sup>;  
 $C_{cbr}$  – концентрация металла в растворе после сорбции, г/дм<sup>3</sup>;  
 $V_p$  – объём раствора, взятый для испытаний, см<sup>3</sup>.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### 1. Влияние pH на эффективность сорбции бериллия

Результаты исследования показали, что эффективность извлечения бериллия зависит от значения pH раствора. В процессе исследований установлено, что максимальная степень извлечения бериллия достигается при значениях pH в диапазоне от 4,5 до 5,0. В этих условиях эффективность сорбционного связывания ионов  $Be^{2+}$  с поверхностью хелатного сорбента достигает 95%. Вероятно, это объясняется тем, что в диапазоне значений pH 4,5–5,0 ионы  $Be^{2+}$  находятся в наиболее стабильной и активной для взаимодействия с активными группами сорбента форме. В этих условиях образуются стабильные комплексы бериллия с функциональными группами хелатных смол, что обеспечивает высокую степень извлечения (рисунок 1).

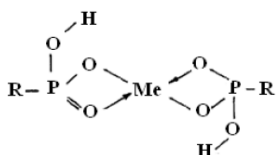


Рисунок 1 – Структурная формула ионно-координационного соединения, образующегося при сорбции 2-х валентного металла ионом Puromet MTS9500

В условиях пониженных значений pH (3,0-3,5) наблюдается преимущественное связывание активных центров сорбента с ионами водорода, вследствие чего снижается возможность фиксации ионов  $Be^{2+}$ . Повышенная концентрация  $H^+$  приводит к конкурентному вытеснению бериллия из потенциальных координационных позиций, что существенно снижает эффективность процесса. При значениях pH выше уровня 5,5 начинается образование труднорастворимых соединений бериллия, главным образом гидроксидов, что приводит к снижению степени сорбции целевого компонента. Образующиеся осадки обладают низкой растворимостью и не способны полноценно взаимодействовать с активными центрами сорбента, что объясняет уменьшение эффективности извлечения при повышенном уровне pH.

### 2. Влияние температуры

Температурные изменения в диапазоне от 20°C до 50°C не оказали значительного влияния на степень извлечения бериллия, что указывает на химическую природу взаимодействия между бериллием и сорбентом. Вероятно, в данном диапазоне температуры процесс сорбции находится в термодинамическом равновесии, при этом концентрация активных форм ионов  $Be^{2+}$  в растворе постоянна.

При повышении температуры более 60°C наблюдается увеличение удельной сорбции металлов, что может быть связано с увеличением молекулярной активности ионов в растворе, а также с ускорением массопереноса. Повышение температуры снижает вязкость раствора и улучшает диффузию ионов к активным центрам сорбента, что интенсифицирует процесс сорбции. Это подчеркивает важность учёта температурных условий при масштабировании процесса.

### 3. Выбор сорбента

Согласно полученным результатам (таблица 1) наибольшей ёмкостью по бериллию (5,2-5,6 г/дм<sup>3</sup>) характеризуется ионообменная хелатная смола Puromet MTS9500. Этот сорбент обеспечивает не только высокую степень извлечения, но и стабильность своих сорбционных характеристик в различных условиях.

Таблица 1 – Сравнительный анализ эффективности сорбентов при извлечении бериллия из сульфатных растворов

Марка ионита	Форма	Степень сорбции Be из раствора, %	Ёмкость сорбента по бериллию, г/дм <sup>3</sup>	Степень сорбированных примесей, %
Puromet MTS9500	Na <sup>+</sup>	95	5,2-5,6	85
Puromet MTS9570	Na <sup>+</sup>	92	3,6-4,2	80
KY-2-8	H <sup>+</sup>	78	1,1-1,2	60

Также в процессе исследований было установлено, что сорбент марки Puromet MTS9500 превосходит другие опробованные сорбенты по эффективности извлечения, стабильности работы при изменении pH и температуры, а также по долговечности в процессе эксплуатации. Это делает Puromet MTS9500 перспективным материалом для практического применения в технологиях очистки водных растворов от ионов бериллия и других тяжёлых металлов [3].

### 4. Исследование кинетики сорбции в статических условиях

По установленным ранее показателям статической обменной ёмкости для исследования процессов сорбции выбраны иониты Puromet MTS9500 и Puromet MTS9570. Для определения кинетических характеристик указанных ионитов в статических условиях проведены эксперименты при соотношении Т:Ж = 1:10. Продолжительность контакта варьировалась от 10 минут до 8 часов. Результаты эксперимента представлены на рисунках 2, 3.

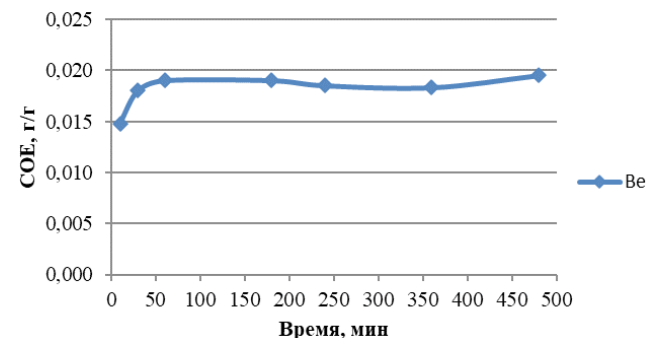


Рисунок 2 - Зависимость изменения статической обменной ёмкости ионита марки Puromet MTS9500 от продолжительности контакта

Для ионитов Puomet MTS9500 и Puomet MTS9570 установлена оптимальная продолжительность контакта, при котором происходит насыщение смолы, в обоих случаях в течение 30 минут при Т:Ж=1:10. При проведении сорбции более длительное время обменная ёмкость изменяется в пределах ошибки измерений значений концентрации в сорбатах.

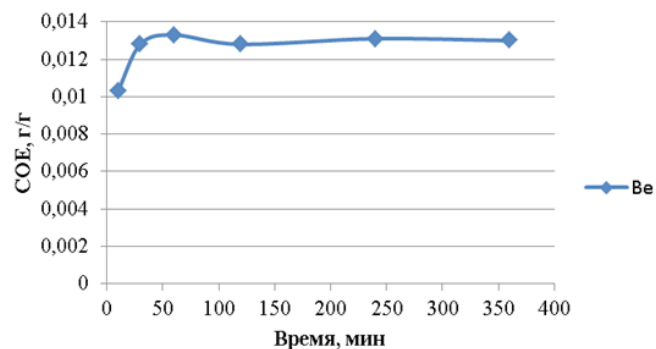


Рисунок 3 - Зависимость изменения статической обменной емкости Puomet MTS9570 от продолжительности контакта

### Промышленное применение

Изученные сорбционные процессы могут быть внедрены в различные отрасли промышленности для эффективного извлечения бериллия из водных растворов. Также данная технология может быть внедрена при переработке руд и очистке сточных вод.

Применение сорбционных методов позволит значительно снизить затраты на химические реагенты, уменьшить энергетические издержки за счёт оптимизации условий процесса и снизить экологическую нагрузку, уменьшая количество токсичных отходов. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку эффективных технологий регенерации сорбентов, что позволит существенно сократить эксплуатационные расходы и продлить срок службы материалов. Реализация разработанных технологий повысит устойчивость процесса извлечения бериллия, сделав его более экономически эффективным и экологически безопасным [4].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённые исследования подтвердили высокую эффективность процессов сорбции бериллия из сульфатных растворов с использованием хелатных ионообменных смол. Наибольшую сорбционную ёмкость и степень извлечения продемонстрировал ионит Puomet MTS9500, который по комплексу эксплуатационных характеристик превосходит другие исследованные сорбенты.

Установлено, что оптимальные условия процесса включают следующие параметры:

- значение pH 4,5-5,0, при котором ионы  $Be^{2+}$  находятся в форме, наиболее благоприятной для комплексообразования с функциональными группами смол;
- температура 60°C обеспечивает повышение скорости массопереноса и кинетики сорбции;
- продолжительность контакта 30.

При соблюдении данных параметров достигается степень извлечения бериллия до 95%, что подтверждает перспективность применения хелатных ионитов для очистки сульфатных растворов различной природы. Показано также, что отклонение pH в кислую или щелочную сторону приводит к снижению эффективности вследствие конкурентного связывания ионов водорода или образования труднорастворимых форм бериллия.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матясова В.Е. Бериллий. Технология и производство - М: ООО «Винпресс», 2020. – 320 с.
2. Патент RU2571763C1 Способ извлечения бериллия методом ионного обмена / Коцарь М.Л., Ананьев А.В., Матясова В.Е., Алекберов З.М., Быков А.Д., Борсук А.Н., опубл в 2015 г.
3. Милютин В.В., Некрасова Н.А., Каптаков В.О. / Новые сорбционные материалы в процессах извлечения ценных компонентов из растворов и очистки сточных вод// Труды Кольского научного центра РАН. 2018. Т.9. № 2-1. С. 67-71.
4. Ковальчук, В. Ю. (2023). «Технология извлечения бериллия из сульфатных растворов с использованием новых сорбентов». Научные и прикладные исследования в химии, 18(4), 88-95.

## АКТУАЛЬНЫЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАЗДЕЛЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И РАДИОАКТИВНЫХ КОМПОНЕНТОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРАХ УРАНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Утешева А.А.<sup>1</sup>, Джумадилов Т.К.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ТОО «Институт высоких технологий», Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>АО «Институт химических наук им. А.Б.Бектурова», Алматы, Казахстан

### ВВЕДЕНИЕ

Развитие уранодобывающей промышленности Казахстана, основанной преимущественно на технологиях подземного скважинного выщелачивания (ПСВ), сопровождается образованием значительных объёмов технологических растворов сложного химического состава. В таких растворах, помимо урана, присутствуют природные радиоактивные элементы – торий, продукты их распада, а также редкоземельные элементы (РЗЭ) [1, 2]. Несмотря на сравнительно низкие концентрации, РЗЭ имеют стратегическое значение, поскольку широко применяются в электронной, энергетической, авиационной и оборонной промышленности.

Добыча и переработка сырья, содержащего редкоземельные элементы, часто осложняется их сопутствующей радиоактивностью, что делает процессы выделения и очистки чрезвычайно сложными. В современных условиях задача селективного разделения РЗЭ и радиоактивных компонентов в продуктивных растворах уранового производства приобретает всё большую актуальность. Эффективное разделение позволяет повысить комплексность переработки минерального сырья, снизить экологическую нагрузку и увеличить экономическую отдачу существующих производств [3, 4].

Существующие методы очистки и разделения редкоземельных и радиоактивных компонентов отличаются высокой трудоёмкостью, многостадийностью и значительными затратами, что значительно увеличивает себестоимость конечной продукции. Поэтому во многих научных центрах мира ведутся активные исследования, направленные на разработку более экономичных, гибких и экологически безопасных технологий переработки [5]. Особое внимание уделяется задаче эффективного выделения РЗЭ из сред, содержащих уран – основной радиоактивный компонент технологических растворов.

В промышленной практике применяются различные методы извлечения и очистки ценных компонентов – сорбция, экстракция, осаждение, мембранные процессы и их комбинации. Однако каждый из этих подходов имеет свои ограничения, связанные с недостаточной селективностью, устойчивостью к кислотным средам или сложностью аппаратного оформления. Дополнительную трудность создаёт неоднородность химического состава растворов разных месторождений, из-за чего универсальные сорбенты и реагенты далеко не всегда демонстрируют высокую эффективность.

Учитывая представленные технологические и химические особенности про-

дуктивных растворов уранового производства, а также ограничения существующих подходов, необходимым этапом анализа является рассмотрение современных методов, используемых для разделения редкоземельных элементов и радиоактивных компонентов. Изучение их принципов, преимуществ и недостатков позволяет определить направления, в которых требуется дальнейшее совершенствование технологий и разработка новых материалов.

Ниже приведён обзор основных групп методов, применяемых в гидрометаллургии для извлечения и разделения элементов в сложных технологических растворах.

### ОСНОВНЫЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАЗДЕЛЕНИЯ ИОНООБМЕННАЯ СОРБЦИЯ

Ионообменная сорбция является одним из наиболее широко используемых методов переработки урановых растворов. Процесс основан на селективном взаимодействии ионов с функциональными группами полимерных сорбентов. Синтетические катиониты и аниониты обладают высокой обменной ёмкостью, устойчивостью и возможностью регулировки структуры. Особенно перспективны макропористые смолы, обеспечивающие эффективный массоперенос при низких концентрациях элементов.



В растворах уранового производства уран, торий и РЗЭ присутствуют в форме комплексных ионов, что делает ионообмен удобным для их выделения. Однако кислотность, высокая ионная сила и наличие конкурентных многозарядных ионов существенно ограничивают эффективность традиционных ионитов, что требует разработки более селективных и устойчивых сорбентов [6].

### ЭКСТРАКЦИОННЫЕ МЕТОДЫ

Экстракция широко применяется для разделения элементов на основе распределения между органической и водной фазами. Используются экстрагенты, образующие устойчивые комплексы с целевыми ионами (D2ЕНРА, ТБФ и др.) [7]. Метод обеспечивает высокую чистоту получаемых фракций и возможность регулировать процесс изменением условий среды.

Однако экстракция требует использования органических растворителей, характеризуется многостадийностью и ограниченной эффективностью при низких концентрациях РЗЭ. В многокомпонентных урановых растворах селективность



экстракции снижается, а экологические требования ограничивают масштабы её применения.

### МЕТОДЫ ОСАЖДЕНИЯ

Осаждение – один из наиболее простых методов выделения редкоземельных и радиоактивных элементов. Чаще всего используются оксалатные, карбонатные и фторидные осадители, формирующие труднорастворимые соединения. Преимуществами метода являются доступность, минимальные требования к оборудованию и высокая скорость фиксации элементов. Основные ограничения связаны с сопереципитацией урана и тория, чувствительностью состава осадков к параметрам среды и необходимостью дополнительной очистки [8]. Поэтому метод обычно применяют на заключительных стадиях переработки.

### МЕМБРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ



Мембранные процессы (нанофильтрация, обратный осмос, электродиализ) применяются для предварительного разделения и концентрирования ионов на основе различий в их размерах и зарядах. Метод не требует химических реагентов и может обеспечивать селективность при работе с низкими концентрациями металлов.

Тем не менее мембраны чувствительны к загрязнению, обладают ограниченной химической стойкостью и требуют регулярного обслуживания, что ограничивает их применение в агрессивных урановых растворах. Чаще всего они используются в сочетании с другими методами для предварительной подготовки раствора.

Учитывая возрастающие требования к селективности и устойчивости процессов переработки урановых растворов, особый интерес представляют материалы нового поколения, способные эффективно функционировать в условиях высокой ионной силы и кислотности.

На этом фоне растёт внимание к интерполимерным системам – композиционным материалам, обеспечивающим значительное повышение эффективности разделения элементов. Развитие таких систем открывает возможности для повышения селективности, оптимизации технологических схем, уменьшения количества стадий переработки и повышение общей эффективности процессов разделения редкоземельных и радиоактивных компонентов.

### ИНТЕРПОЛИМЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

Интерполимерные ионообменные системы представляют собой композиции двух сшитых полимеров, находящихся в общем растворителе и взаимодей-

вующих через межполимерные связи. Каждый полимер содержит собственные функциональные группы, и их совместное присутствие приводит к формированию ассоциированных структур с особыми ионообменными свойствами [9].

Главная особенность таких систем – образование заряженных групп без участия классических противоионов. При диссоциации кислотного гидрогеля высвобождающийся протон связывается с гетероатомом основного гидрогеля. В результате оба полимера приобретают одноимённые заряды без противоионов, что приводит к значительному увеличению плотности заряда вдоль цепей и усилению сорбционной способности.

Интерполимерные системы обеспечивают эффективное групповое извлечение катионов и анионов различной природы и обладают более высокой селективностью по сравнению с индивидуальными ионитами [10-12]. Возможность подбора комбинаций полимеров позволяет регулировать сорбционные свойства и адаптировать материал к конкретным технологическим задачам переработки урановых растворов.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ существующих методов разделения редкоземельных и радиоактивных компонентов в урановых растворах показывает, что традиционные подходы не обеспечивают достаточной селективности, устойчивости и эффективности в условиях сложных кислотных сред. Перспективным направлением является разработка материалов нового поколения, включая интерполимерные системы, которые благодаря механизму межполимерного взаимодействия обладают высокой сорбционной способностью и потенциалом для уменьшения числа технологических стадий. Их внедрение способствует созданию более экономичных, экологических и технологически устойчивых процессов переработки, что важно для повышения эффективности уранодобывающей отрасли Казахстана.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jumadilov T., Totkhuskyzy B., Malimbayeva Z., Kondaurov R., Imangazy A., Khimersen K., Grazulevicius J. Impact of Neodymium and Scandium Ionic Radii on Sorption Dynamics of Amberlite IR120 and AB-17-8 Remote Interaction// Materials – 2021, 14, 5402. <https://doi.org/10.3390/ma14185402>
2. Jumadilov T., Khimersen K., Malimbayeva Z., Kondaurov R. Effective Sorption of Europium Ions by Interpolymer System Based on Industrial Ion-Exchanger Resins Amberlite IR120 and AB-17-8//Materials – 2021, 14, 3837. <https://doi.org/10.3390/ma14143837>
3. Аймбетова И.О., Устимов А.М., Бахов Ж.К. и др. Как извлечь редкоземельные металлы из техногенных растворов урановой промышленности // Редкие земли. – 2014. – № 3. – С. 126-131
4. Тарасов А.В., Акимова Н.П., Тоцев Д.А., Лиске А.А. Информационно-технический справочник НДТ. ИТС 24-2017: Производство редких и редкоземельных металлов. – М.: ГИНЦВЕТМЕТ, 2017. – 25 с.
5. Петухов О.Ф., Рузиев Б.Т., Шарафутдинов У.З. Извлечение редкоземель-

- ных элементов из растворов подземного выщелачивания урана// Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 1. – С. 58–67
6. Atamanov M., Insepov Z. Advanced Techniques for Thorium Recovery from Mineral Deposits: A Comprehensive Review // Applied Sciences. – 2025. – Vol. 15(21). – P. 11403
  7. Nguyen T.H., Le B.T., Tran C.T. et al. Selective recovery of thorium and uranium from leach solutions of rare earth concentrates in continuous solvent extraction mode with primary amine N1923//Hydrometallurgy. – 2022. – Vol. 213. – Article 105933.
  8. Bie C., Gao Y., Su J. et al. The efficient separation of thorium from rare earth using oxamic acid in hydrochloric acid medium // Separation and Purification Technology. – 2020. – Vol. 251. – P. 117358.
  9. Xiong X.H., Ning S.Y., Guo X. et al. Selective extraction of thorium from uranium and rare earth elements using a sulfonated covalent organic framework and its membrane derivate // Chemical Engineering Journal. – 2020. – Vol. 384. – P. 123240.
  10. Jumadilov T.K., Utesheva A.A., Khimersen Kh., Kondaurov R.G., Grazulevicius J.V. Abnormal activity of functional groups during uranyl ions sorption by polymethacrylic acid–poly-4-vinylpyridine intergelsystem//Bulletin of the University of Karaganda. Chemistry Series. – 2021. – Vol. 104, No. 4. – P. 47–56. DOI: 10.31489/2021Ch4/47-56.
  11. Utesheva A.A., Jumadilov T.K., Grazulevicius J.V. Self-organization of interpolymer systems with high sorption activity to uranyl ions //Engineering Journal of Satbayev University. – 2022. – Vol. 144, No. 2. – P. 22–27. DOI: 10.51301/ejsu.2022.i2.04.
  12. Jumadilov T., Utesheva A., Grazulevicius J., Imangazy A. Selective Sorption of Cerium Ions from Uranium-Containing Solutions by Remotely Activated Ion Exchangers//Polymers (Basel). – 2023. – Vol. 15, Issue 4. – Article No. 816. DOI: 10.3390/polym15040816.

УДК: 502.21:539.16:546.36:546.798.23 (574.41)

## ИЗУЧЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ $^{137}\text{Cs}$ , $^{241}\text{Am}$ В ПОЧВАХ МЕСТ ИСПЫТАНИЯ БОЕВЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ

**Мусатаева Т.К., Кундузбаева А.Е.**

Филиал «ИРБЭ» НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

В работе рассмотрен характер вертикального распределения форм нахождения радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$  в почвах Семипалатинского испытательного полигона в местах испытаний боевых радиоактивных веществ (пл. «4а»). Исследования проведены на двух участках, различающихся по характеру вертикального распределения радионуклидов по глубине.

На участке с классическим характером вертикального распределения радионуклидов в почвенном профиле определить распределение форм нахождения гамма-излучающих радионуклидов по глубине не удалось в связи с отсутствием количественных данных удельной активности радионуклидов в почвенных вытяжках. На втором участке распределение форм нахождения радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  по глубине отлично от распределения радионуклида и имеет равномерный характер по всей глубине, что можно объяснить процессом «старения» радионуклида  $^{137}\text{Cs}$ , который привел к снижению подвижности радионуклида в почве, и современное состояние радионуклида в почве приближено к равновесному.

Характер распределения данных содержания кислоторастворимой формы изотопа  $^{241}\text{Am}$  по глубине на втором участке практически схож с характером распределения содержания данного изотопа по профилю. Низкое содержание кислоторастворимой формы  $^{241}\text{Am}$  в верхнем слое может быть определено влиянием физико-химических свойств почв, изменяющихся по глубине почвенного профиля.

**Ключевые слова:** Семипалатинский испытательный полигон; почва; вертикальное распределение радионуклидов; формы нахождения; последовательное экстрагирование;  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$ .

Семипалатинский испытательный полигон (СИП) являлся одним из крупнейших полигонов СССР для испытания ядерного оружия. В период с 1954 по 1957 гг. на территории полигона (площадки «4» и «4А») проводились испытания боевых радиоактивных веществ (БРВ), представлявших собой высокоактивные жидкие растворы и порошки (Рисунок 1) [1].

Ранние исследования выявили на некоторых участках площадки «4А» проникновение искусственных радионуклидов на глубину до 30 см, в наибольших количествах это отмечено для радионуклида  $\text{Sr}^{90}$  [2-5]. В ходе данных исследований были выделены участки с различным характером распределения радионуклидов по глубине. С точки зрения оценки миграционной способности ра-

дионуклидов особый интерес представляет изучение вертикального распределения форм нахождения радионуклидов на данных участках [6].

Целью настоящей работы является исследование вертикального распределения форм нахождения радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$  в почвах мест испытания БРВ с использованием метода последовательного экстрагирования.

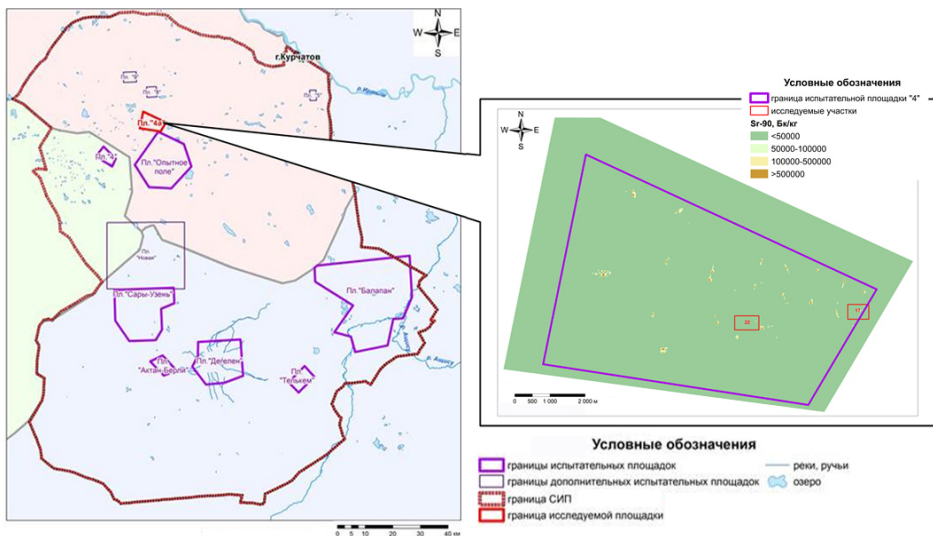


Рисунок 1. – Расположение исследовательских участков

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследования особенностей вертикального распределения форм нахождения радионуклидов в почвах были выбраны два участка – участок №17 и 22 площадки «4А» с различным характером вертикального распределения радионуклидов. Отбор проб почвы проводили послойно до глубины 30 см с шагом 5 см (0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25 и 25-30 см).

Для определения форм нахождения была использована схема последовательного экстрагирования, предложенная Ф.И. Павлоцкой [8]. Схема включала определение следующих форм радионуклидов: водорастворимые формы (экстрагент – дистиллированная вода), обменные формы (1М  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ), кислоторастворимые (1М  $\text{HCl}$ ). На всех этапах эксперимента соотношение почвы и экстрагента составляло 1:5. Непосредственно в остатках почвы после выщелачивания определяли прочносвязанные формы радионуклида. Содержание форм нахождения радионуклида рассчитывали в процентном содержании от суммарного содержания всех форм.

Определение активности гамма-излучающих радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$  в образцах почвы и почвенных вытяжках проводили на гаммаспектрометрах GEM FX 5825-P4 Ortec фирмы «Ametek» и BE 3830 фирмы «Canberra», оснащенных по-

лупроводниковыми детекторами на основе высокочистого германия с относительной эффективностью регистрации 35% [10]. Для калибровки спектрометров по эффективности регистрации применялись объемные насыпные источники ОМАСН (Россия), RgU, RgTh, RgK (IAEA). Типичные пределы обнаружения радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$  - 0,1 Бк/кг.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Участок №17 характеризуется классическим вертикальным распределением радионуклидов в почве – с глубиной содержание радионуклидов уменьшается (Рисунок 2). На участке №22 наблюдается иной характер распределения – с глубиной удельная активность радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{241}\text{Am}$  увеличивается до максимума на глубине 15-20 см и затем вновь снижается (Рисунок 2).

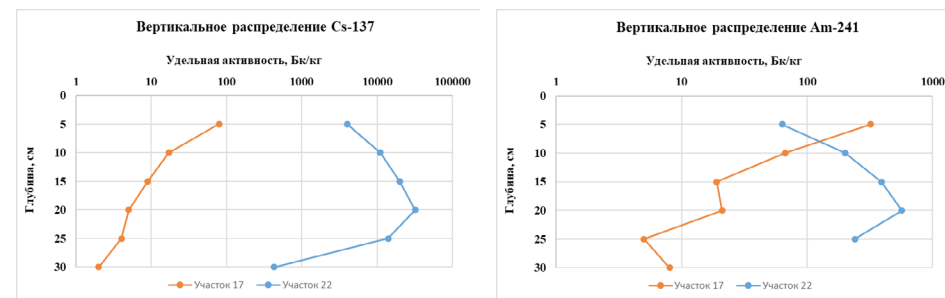


Рисунок 2. Вертикальное распределение радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{241}\text{Am}$  на участках 17 и 22

На участке №17 определить вертикальное распределение форм нахождения радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{241}\text{Am}$  не удалось, т.к. значения удельной активности радионуклидов в почвенных вытяжках оказались менее предела обнаружения аппаратно-методического обеспечения. На участке №22 радионуклид  $^{137}\text{Cs}$  определен в составе водорастворимой (0,1%-0,3%), обменной (7,3%-13,8%), кислоторастворимой (5,3%-6,5%), прочносвязанной форм (81-86%). На данном участке распределение всех форм  $^{137}\text{Cs}$  по глубине имеет равномерный характер (Рисунок 3).

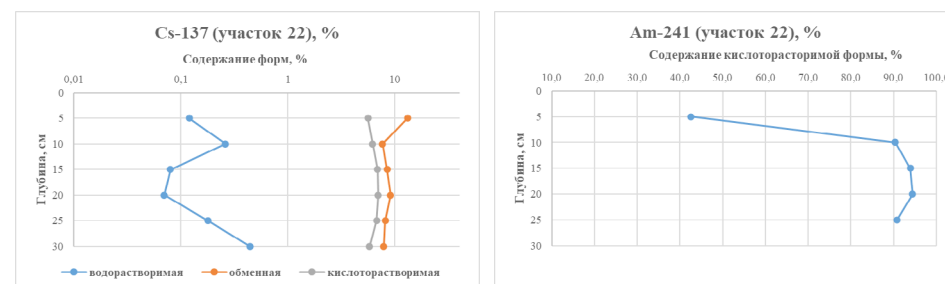


Рисунок 3. Вертикальное распределение форм нахождения радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{241}\text{Am}$  на участках

Радионуклид  $^{241}\text{Am}$  в почвах участка №22 определен в двух формах – кислоторастворимой и прочносвязанной, в составе других форм содержание изотопа менее предела обнаружения аппаратурно-методического обеспечения. На участке №22 распределение форм радионуклида  $^{241}\text{Am}$  повторяет характер вертикального распределения самого радионуклида. Содержание кислоторастворимой формы в верхнем 0-5 слое минимально (43%), а на глубине от 5 до 25 см колеблется примерно на одном уровне от 90 до 94%. Низкое содержание кислоторастворимой формы  $^{241}\text{Am}$  в верхнем слое может быть определено влиянием физико-химических свойств почв, изменяющихся по глубине почвенного профиля.

### ВЫВОДЫ

На участке с классическим характером вертикального распределения радионуклидов в почвенном профиле определить распределение форм нахождения гамма-излучающих радионуклидов по глубине не удалось в связи с отсутствием количественных данных удельной активности радионуклидов в почвенных вытяжках. На втором участке распределение форм нахождения радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  по глубине отлично от характера вертикального распределения радионуклида и имеет равномерный характер по всей глубине. Можно предположить, что по прошествии многих лет с момента испытаний в результате процесса «старения» радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  в почве, который привели к снижению подвижности радионуклида, и современное состояние радионуклида в почве приближено к равновесному.

Распределение форм радионуклида  $^{241}\text{Am}$  на данном участке повторяет характер вертикального распределения самого изотопа. Содержание кислоторастворимой формы в верхнем 0-5 слое минимально (43%), а на глубине от 5 до 25 см колеблется примерно на одном уровне от 90 до 94%. Низкое содержание кислоторастворимой формы  $^{241}\text{Am}$  в верхнем слое может быть определено влиянием физико-химических свойств почв, изменяющихся по глубине почвенного профиля.

Следующим этапом исследований является изучение вертикального распределения форм нахождения радионуклидов  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{241}\text{Pu}$  в почвах испытания БРВ и оценка влияния физико-химических свойств почв на вертикальное распределение радионуклидов в почве.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Логачев В. Радиоэкологические последствия испытаний БРВ на Семипалатинском полигоне [Текст] / В. Логачев // Бюллетень по атомной энергии. -2002.- №12-С.62-67
2. Осинцев А.Ю. Исследование характера и уровней радиоактивного загрязнения площадки испытаний боевых радиоактивных веществ / А.Ю. Осинцев, С.Е. Сальменбаев // Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2011-2012 гг. / под рук. генерального директора по радиоэкологии РГП НЯЦ РК. Павлодар: ТОО «Дом печати», 2013. Вып.4. С. 189-474.

3. Panitskiy A.V., Koshkarova L.S., Beketov E.E., Issembergenov N.T., Alimbekova L.M., Korotchenko T.V., Kisitsin A.A., Kalykova A.B. Vertical distribution of radionuclides in soil at the Semipalatinsk Test Site beyond its test locations // PLoS ONE. – 2023. – Vol. 18, №1. – P. e0279794.
4. Паницкий, А.В. Вертикальное распределение радионуклидов в почвах площадки «4А» Семипалатинского испытательного полигона / А.В. Паницкий, И. А. Сергеев, А.С. Жуусова // Известия НЯЦ РК. – 2018. – № 2. – С. 34–42.
5. Паницкий, А.В. Особенности вертикального распределения радионуклидов в почвах бывшего Семипалатинского полигона // Фундаментальные исследования, 2013. №10. С. 2331 - 2236.
6. Котова, А.Ю. Поведение некоторых радионуклидов в различных почвах / А.Ю. Котова, Н.И. Санжарова // Почвоведение. – 2002. – № 1. – С. 108-120.
7. Павлоцкая Ф.И. Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах / Ф.И. Павлоцкая. – М.: Атомиздат, 1974. – 215 с.
8. Кундузбаева А.Е. Формы нахождения искусственных радионуклидов в почвах испытательной площадки боевых радиоактивных веществ / А.Е. Кундузбаева, А.Ю. Осинцев, С.Н. Лукашенко, Р.Ю. Магашева // Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2011-2012 гг. / под ред. С.Н. Лукашенко. Павлодар: ТОО «Дом печати», 2013. Т.2. Вып. 4. С. 167-180.
9. Kunduzbayeva A.Ye., Lukashenko S.N., Kabdyrakova A.M. и др. Speciation of  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{241}\text{Am}$  and  $^{239+240}\text{Pu}$  artificial radionuclides in soils at the Semipalatinsk test site // Journal of Environmental Radioactivity. - 2022. - Vol. 249. - Article 106867. - DOI: 10.1016/j.jenvrad.2022.106867.
10. Активность радионуклидов в счетных образцах / Методика измерений на гамма-спектрометрах с использованием программного обеспечения «Spectra-Line». Менделеево: ГНМЦ «ВНИИФТРИ», 2014. Свидетельство об аттестации № 43151.4Б207/01.00294-2010 от 28.02.2014 г. 27 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ: «РАЗВИТИЕ УРАНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ» .....	3
УРАН ӨНДІРУ ӨНЕРКӘСІБІН ДАМЫТУ <b>Мұрат Б.М.</b> .....	4
ОБЗОР ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ УРАНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ <b>А.К. Омарова, Ю.Г. Перменев, М.В. Коптелов</b> .....	12
«ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗИРОВАННОГО 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ ПО ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ НА УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ШУ-САРЫСУСКОЙ ПРОВИНЦИИ» <b>Әсірбек Н.Ә.</b> .....	17
РЕГЕНЕРАЦИЯ ОТРАБОТАННОГО ЭКСТРАГЕНТА УРАНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА АО «УМЗ» <b>Болтанов А.В., Корнилович М.В., Романова К.Б., Адилбекова А.А., Байбекова Г.С.</b> .....	26
ВКЛАД ЛАБОРАТОРНОГО АНАЛИЗА СОДЕРЖАНИЯ УРАНА В БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ КАЗАХСТАНА <b>Альжанова А.Ш., Даулетхан А.Ж.</b> .....	29
СЕКЦИЯ: «ВОПРОСЫ РАДИОЭКОЛОГИИ, ГЕОФИЗИКИ» .....	35
АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ В УРАНОДОБЫЧЕ: КОНТРОЛЬ СОДЕРЖАНИЯ УРАНА ТИТРИМЕТРИЕЙ И XRF КАК ОСНОВА РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ <b>Серікова А.Б.</b> .....	36
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СОРБЦИИ БЕРИЛЛИЯ ИЗ СУЛЬФАТНЫХ РАСТВОРОВ <b>Горковенко А.В., Хлебникова И.А., Шестаков К.А.</b> .....	39
АКТУАЛЬНЫЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАЗДЕЛЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И РАДИОАКТИВНЫХ КОМПОНЕНТОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРАХ УРАНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА <b>Утешева А.А., Джумадилов Т.К.</b> .....	45

ИЗУЧЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ <sup>137</sup> Cs, <sup>241</sup> Am В ПОЧВАХ МЕСТ ИСПЫТАНИЯ БОЕВЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ <b>Мусатаева Т.К., Кундузбаева А.Е.</b> .....	50
--	----

ДЛЯ ЗАМЕТОК



Формат 148 x 210 мм  
Гарнитура Arial, кегль 9  
Тираж 300.

Дизайн и верстка: Алиев С.А.

Отпечатано в типографии:  
ТОО «Типография Форма Плюс», г. Караганда,  
ул. Молокова, дом №106, корпус 2. КНП 710.