

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ МОНГОЛІЇ
МОНГОЛЬСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЇ**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

ЦЕНДЖАВ ЛХАГВА



УДК 622.349.5:621.039.007

**ОБҐРУНТУВАННЯ ГЕОТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
РОЗРОБКИ УРАНОВИХ РОДОВИЩ МОНГОЛІЇ**

**Спеціальність 05.15.02 – підземна розробка родовищ
корисних копалин**

**Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Улан-Батор – Дніпропетровськ – 2014

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрах розробки родовищ Монгольського університету науки і технології Міністерства освіти і науки Монголії (м. Улан-Батор) та підземної розробки родовищ Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ).

Науковий керівник:

кандидат технічних наук, доцент, докторант кафедри підземної розробки родовищ Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ)

**ХОМЕНКО
Олег
Євгенович**

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри вищої математики, проректор Рівненського Державного гуманітарного університету Міністерства освіти і науки України

**ПЕТРІВСЬКИЙ
Ярослав
Борисович**

кандидат технічних наук, головний інженер Державного підприємства «Східний гірничо-збагачувальний комбінат» Міністерства енергетики та вугільної промисловості України (м. Жовті Води)

**ПУХАЛЬСЬКИЙ
Віктор
Миколайович**

Захист відбудеться «__» _____ 2014 р. о __:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.03 у Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19, тел. (0562) 47-24-11.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19).

Автореферат розісланий «__» _____ 2014 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 08.080.03
кандидат технічних наук, доцент



В.І. Тимошук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Глобальна світова криза підсилила зміну світових енергетичних орієнтирів у бік ядерного палива. Щорічне зростання видобутку урану відбувається на тлі вичерпання його додаткових джерел – утилізованих у США та Росії боеголовки. Світові розвідані запаси урану (без урахування Монголії) становлять понад 5 млн т, у т.ч.: в Австралії – 1234, Казахстані – 817, Росії – 548, ПАР – 435, Канаді – 423, США – 342, Бразилії – 278, Намібії – 275, Нігері – 274, Україні – 200 тис. т. Розвідані запаси урану в Монголії складають 1475 тис. т, а їх інтенсивна експлуатація геотехнологічними методами гарантує найближчим часом вихід на лідируючі позиції у світі.

Існуючий світовий досвід експлуатації уранових родовищ методом свердловинного підземного вилуговування (СПВ) довів, що стабільна робота геотехнологічного обладнання ефективна в умовах плюсових температур. Географічне розташування Монголії характеризується різко континентальним кліматом Центральної Азії, де плюсові температури фіксуються в літні місяці, а зимова температура знижується до -50 °С. Буріння й оснащення геотехнологічних свердловин, монтаж і демонтаж обладнання, робота з розчинами і матеріалами в таких кліматичних умовах носить сезонний характер, що обумовлює необхідність відпрацювання родовищ тільки влітку. При цьому, на всіх гідрогенних родовищах країни рудні тіла залягають на 3 – 7 гісометричних рівнях, з високою мінливістю розмірів і форми рудних тіл, вмісту урану та кількості радіоактивних елементів у рудах, що збільшує час і витрати на їх відпрацювання.

Таким чином, формується науково-практична задача з підвищення інтенсивності відпрацювання гідрогенних родовищ урану в Монголії, які характеризуються складними кліматичними та гірничотехнічними умовами розробки. Обґрунтування шляхів інтенсифікації та методів концентрації гірничих робіт на зазначених родовищах має актуальне значення для прискорення промислового розвитку країни.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрах розробки родовищ Монгольського університету науки і технології та підземної розробки родовищ Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» і пов'язана з міждержавними договорами між Міністерствами освіти і науки Монголії та освіти і науки України (2005 – 2011); Агентства ядерної енергії Монголії і Міністерства енергетики та вугільної промисловості України (2010) за темами Уранової енергетичної компанії «Мон-Атом» «Дослідження рідкоземельних елементів і урану» № 02/003.2010 та спільного підприємства «Гурван-Сайхан» «Особливості ведення бурових робіт і методика розвідки родовища «Ульзіт», № 06/012.2012.

Мета роботи і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення інтенсифікації процесів вилуговування урану на основі особливостей будови гідрогенних родовищ Монголії.

Для реалізації мети були поставлені й вирішені наступні завдання:

1. Встановити закономірності зміни показників урановмісних руд за площею і глибиною розкритих родовищ Монголії.
2. Дослідити показники речовинних і радіологічних властивостей уранових руд на родовищах з мінливою потужністю і концентрацією корисних компонентів.
3. Обґрунтувати геотехнічні параметри схеми відпрацювання видобувних блоків з підвищенням ступеня вилучення урану.
4. Визначити економічну ефективність застосування запропонованого способу підготовки відокремлених рудних покладів урану для СПВ.

Об'єкт дослідження – процеси вилучення урану методом СПВ з гідрогенних родовищ Монголії.

Предмет дослідження – геотехнологічні параметри відпрацювання родовищ урану при погоризонтній підготовці рудних тіл.

Ідея роботи полягає у використанні ефекта групування рудних тіл на різних глибинах за рахунок суміщення свердловин, розташованих за гексагональною схемою.

Методи дослідження. Поставлені завдання вирішувалися комплексним методом, що містив аналіз умов залягання рудних тіл і відпрацювання родовищ підземним вилуговуванням, а також натурні та лабораторні дослідження фізичних і хімічних властивостей уранових руд. Промислові дослідження виконувалися за допомогою механічних і геофізичних методів, експериментальні дослідження – геохімічними методами, а теоретичні – математичними та фізико-хімічними методами моделювання.

Наукові положення, що виносяться на захист:

1. Погоризонтний спосіб підготовки відокремлених покладів на різних глибинах визначається структурою проміжних товщ, проникність яких змінюється від 1,16 до 11,6 Дарсі й дозволяє групувати відпрацювання рудних тіл суміщеними свердловинами з різними діаметрами та конструкцією фільтрів, що до 62% знижує витрати на буріння і в 2 рази скорочує час відпрацювання уранових родовищ Монголії.

2. Рациональна відстань між свердловинами в гексагональній схемі відпрацювання гідрогенних родовищ урану в діапазоні від 12,5 до 44,3 м визначається експоненційною залежністю насичення продуктивних розчинів у часі, що для умов сезонності геотехнологічних робіт дозволяє визначати конфігурацію видобувних блоків з вилученням урану до 97%.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується проведенням досліджень у сертифікованих лабораторіях на апробованому обладнанні із застосуванням ліцензованих методів дослідження, задовільною збіжністю результатів натурних і фізичних дослідів з результатами теоретичного моделювання, яка знаходиться у межах 84 – 99%.

Наукове значення дисертації полягає у встановленні закономірностей вилуговування уранових руд, кінетика якого залежить від проникності проміжних товщ і концентрації сірчаної кислоти, що дозволило визначити раціональну відстань між свердловинами і час насичення продуктивних розчинів для умов погоризонтного відпрацювання родовищ урану в Монголії методом СПВ.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Встановлено показники зміни урановмісних компонентів для розкритих родовищ «Хараат», «Хайрхан», «Гурван-Сайхан» і «Ульзіт».
2. Виявлено межі зміни речовинних і радіологічних властивостей руд для гідрогенних родовищ Монголії зі змінною потужністю та глибиною залягання рудних тіл.
3. Встановлено закономірності зміни швидкості вилуговування урану при зміні концентрації сірчаної кислоти і добавок до технологічного розчину.

Практичне значення роботи:

1. Обґрунтовано параметри гексагональної схеми розташування свердловин при підземному вилуговуванні урану в умовах родовищ Монголії на основі врахування зміни у часі концентрації урану в продуктивному розчині.
2. Удосконалено методику розрахунку геотехнологічних параметрів відпрацювання родовищ урану методом СПВ на основі фізико-математичного моделювання міграції продуктивних розчинів у відпрацьовуваних блоках.
3. Запропоновано ресурсозберігаючий спосіб підготовки відокремлених рудних тіл з суміщенням свердловин з різними діаметрами та конструкцією фільтрів.
4. Запропоновано інженерні рекомендації щодо зниження кольматації фільтрів і прифільтрових зон.

Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні мети і завдань дослідження, виборі методів та розробці методик проведення промислових, лабораторних і теоретичних дослідів, обробці отриманих результатів і формулюванні наукових положень, апробуванні та впровадженні технологічних рішень в умовах родовища «Ульзіт» у спільного підприємства «Гурван-Сайхан» Уранової енергетичної компанії «Мон-Атом».

Апробація результатів. Основні результати дисертаційної роботи представлялися й обговорювалися на міжнародних науково-практичних конференціях: «Школа підземної розробки» (2011, Ялта), «Форум гірників» (2012, Дніпропетровськ), а також на технічних нарадах Уранової енергетичної компанії «Мон-Атом» (2009 – 2013, Улан-Батор) та спільного підприємства «Гурван-Сайхан» (2012 – 2013, Улан-Батор).

Публікації. Основні положення виконаних досліджень опубліковані в 8 наукових працях, з них 6 статей у спеціалізованих виданнях і 2 матеріали конференцій.

Обсяг і структура дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів і висновків, викладених на 140 сторінках машинописного тексту, містить 21 рисунок, 16 таблиць, список використаних джерел з 95 найменувань на 8 сторінках і 3 додатки на 3 сторінках; загальний обсяг роботи 151 сторінка.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність вибраної теми, наведено зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами; поставлена мета і сформульовано завдання досліджень; наведено наукові положення, які виносяться на захист; методи дослідження та наукова новизна отриманих результатів; наукове і практичне значення роботи, апробація та публікації результатів досліджень.

У першому розділі проаналізовано стан досліджуваного питання, поставлена мета і сформульовано завдання дослідження. Встановлено, що глобальна світова криза посилила зміну світових енергетичних орієнтирів у бік ядерного палива. Сьогодні уран перетворився на стратегічний продукт глобальної економіки, на частку якого припадає виробництво понад 15% електроенергії в світі. Подолання зростаючого глобального дефіциту енергії безпосередньо залежить від розвитку атомної енергетики в усьому світі. Щорічне зростання видобутку урану відбувається на тлі вичерпання його додаткових джерел – утилізованих в США та Росії боеголовки.

Аналіз світового споживання урану для виробництва електроенергії на АЕС довів, що до 2025 р. потужність ядерної енергетики перебуватиме в інтервалі 450 (+22%) – 530 (+44%) ГВт і призведе до щорічного споживання урану на рівні 80 – 100 тис. т. За умови використання в урановому циклі тільки теплових реакторів дефіцит урану виникне в 2050 р. Докорінна зміна сформованої ситуації може відбутися тільки з впровадженням швидких реакторів-розмножувачів, які зроблять рентабельним видобуток урану з бідних і невеликих родовищ.

Розробка родовищ урану інтенсивно ведеться в Північній і Південній Америці: Канада – 21 родовище, Гренландія і Мексика – по 1, США – 35, Бразилія – 4, Аргентина – 2; в Європі: Швеція, Німеччина, Польща і Франція – по 1, Чехія – 5, Румунія та Іспанія – по 2, Україна – 4; в Азії: Росія – 16, Казахстан – 16, Узбекистан – 15, Монголія – 3, Китай – 11, Південна Корея та Індія – по 1; в Африці: Марокко – 4, Алжир – 3, Камерун, Танзанія, Малаві, Мадагаскар, ЦАР – по 1, Сомалі і Замбія – по 2, Нігер, Намібія і ПАР – по 12; в Австралії – 22. Світові розвідані запаси урану (без урахування Монголії) складають понад 5 млн т. Розвідані запаси урану в Монголії становлять 1,475 млн т, завдяки яким країна увійде до числа 10 найбагатших країн світу із посіданням лідируючих позицій (3 – 5 місце) серед країн-володарів уранової сировини. Значний обсяг розвіданих і підготовлених до розробки запасів забезпечить швидке введення родовищ в інтенсивну експлуатацію (табл. 1).

Аналіз сучасних способів інтенсифікації видобутку урану в науково-технічних, проектно-дослідних та інтернет-ресурсних джерелах показав, що відносно дешево виробництво урану на рівні \$ 35 за 1 кг можливо тільки компаніями, що експлуатують два типи родовищ. Це об'єкти «неузгоджень» Канади та гідрогенні родовища Австралії, Узбекистану, Казахстану і Росії, або за умови супутного видобування, як це реалізують на родовищах Південної Африки.

Детально розвідані запаси урану в Монголії

Родовище	Ступінь розвідки запасів	Запаси руди, млн т	Вміст урану, %	Запаси урану, тис. т
Розкриті запаси				
«Хараат»	C1 + C2	28,1	0,026	7,29
«Хайрхан»	C1 + C2	11,8	0,071	8,42
«Гурван-Сайхан»	C1 + C2	12,5	0,067	4,38
«Ульзіт»	C1 + C2	6,70	0,036	3,01
Підготовлені запаси				
«Мардай»	C1 + C2	1,80	0,160	2,90
«Гурванбулаг»	C1 + C2	14,7	0,170	22,0
«Дорнод»	C1 + C2	16,5	0,175	32,0

Різко континентальний клімат Монголії зумовлює сезонний характер ведення геотехнологічних робіт. Також на ефективність виробництва істотно впливає низька освоєність гірничодобувних регіонів і значне їх віддалення від індустріальних центрів країни. Циклічне виконання гірничих робіт зумовлює застосування гірничо-хімічного обладнання у модульній та мобільній компоновці. Існуючі умови стримують буївництво видобувних підприємств, на яких з метою безперервності функціонування, виконують комплексну розробку і використання декількох видів енергоресурсів. Крім цього, на всіх гідрогенних родовищах країни рудні тіла залягають на різних глибинах, що додатково збільшує час і витрати на їх відпрацювання.

У результаті виконаного аналізу споживання урану на світовому ринку, його родовищ і запасів, обсягів видобутку та способів інтенсифікації виробництва, сформовані мета та поставлені задачі досліджень з підвищення ефективності відпрацювання гідрогенних родовищ урану в Монголії в умовах сезонного ведення робіт. Обґрунтування шляхів інтенсифікації та методів концентрації гірничих робіт на зазначених родовищах, які характеризуються складними кліматичними і гірничотехнічними умовами при високій мінливості розмірів, форми і кількості рудних тіл, вмісту урану й кількості радіоактивних елементів у рудах, має актуальне значення для прискорення промислового розвитку країни.

У другому розділі виконано аналіз існуючих методів досліджень, який дозволив скласти їх класифікацію. За функціональним призначенням методи були об'єднані в три класи: теоретичні, лабораторні та промислові, і далі поділялися на групи і види методів. Так, наприклад, до промислових методів дослідження фізичних, хімічних і речовинних властивостей уранових руд були віднесені маркшейдерські, механічні та геофізичні методи, які, в свою чергу, поділялися на метод бурових свердловин, крихкості керна, оцінки тріщинуватості; геофізичні – на акустичні, радіометричні, електрометричні й електричні методи тощо. Для використовуваних методів були розроблені методики проведення досліджень і представлені результати виконання промислових і лабораторних дослідів для умов залягання, складу та властивостей уранових родовищ Монголії.

Буріння розкривних свердловин було основним видом дослідних робіт, застосовуваних на родовищах урану гідрогенного типу Монголії. Крок у профілі між свердловинами визначався масштабами і характером розвитку зруденіння та становив 800 – 400 м зі зменшенням у сприятливих умовах до 200 – 100 – 50 м. Основним критерієм визначення глибини буріння був розвиток окислювальних процесів. Унаслідок цього свердловини бурили на глибину 150 – 250 м, іноді до 300 м. Бурові роботи виконані спільно з двома монгольськими буровими компаніями. Компанія «Ord Geo» виконувала буріння на Ульзітинському родовищі, компанія «Tanap Impre» послідовно виконувала роботи на Хайрханському, Гурван-Сайханському і Хараатському родовищах. Окрім цього, спільно з компанією «Denison mines Mongolia» виконані дослідження на уран по всьому Гобійському району Монголії в складі спільного Монголо-Російсько-Американського підприємства «Гурван-Сайхан».

Параметри розкриття родовищ довели, що вони мають ідентичну природу походження. Це визначає ідентичний вид родовищ, геологічну структуру і склад порід, що вміщують рудні тіла. Крім цього, в одних межах знаходяться параметри рудних покладів, які мають типовий для гідрогенних родовищ урану вигляд і форму (горизонтальні, шарові і роли, лінзо-, стрічко- та гніздоподібні тіла), розміри (200 – 4000 м) і середній вміст урану (0,036 – 0,066%). Також встановлено, що всі рудні поклади розташовані у водонасиченому шарі, який характеризується наступними умовами: водопровідність 0,2 – 370 м²/добу, коефіцієнт фільтрації 0,1 – 10 м/добу, мінералізація 0,7 – 7,0 г/л. Аналіз параметрів розкриття родовищ «Хараат», «Хайрхан», «Гурван-Сайхан» більш сприятливий, ніж для «Ульзіт». Це говорить про те, що технологічні параметри з цих двох груп родовищ будуть відрізнятися, і їх обґрунтування має виконуватися окремо.

Лабораторні дослідження були визначені як один з основних етапів науково-дослідних робіт з визначення речовинного складу і властивостей гірських порід, які виконано на прикладі родовища «Ульзіт». Основний обсяг лабораторних робіт припадав на дослідження 359 кернових проб, оброблених у лабораторіях Монголії, Канади та Росії. Всі проби були обстежені методами ICP+ICP/MS на 62 радіоактивних елементи і ICP-MS – на склад водних проб у лабораторії «ActLabs» (Канада). Для контролю якості 43 проби було проаналізовано рентгеноспектральним, радіометричним і полуменевофотометричним методами в спеціалізованій лабораторії ДП «Сосновгеологія» (Росія). Також для 44 проб проведено аналіз рентгено-флуоресцентним методом, а також вивчено хімічний і мінералогічний склад рудовмісних порід та їх фізико-механічні властивості в Центральній геологічній лабораторії Монголії.

За результатами геохімічних досліджень радіологічних властивостей визначено наявність елементів-супутників урану та їх концентрація в рудах. Встановлено, що при видобуванні урану методом підземного вилуговування буде потрібно додаткове використання окислювачів. Експерименти, виконані в Центральній геологічній лабораторії Монголії, довели можливість стабільного вилучення урану при безперервній подачі техногенного окислювача (перекису водню) з середньою концентрацією 0,06 г/л або природного окислювача – тривалентного заліза (табл. 2).

Параметри вилуговування урану для руд родовища «Ульзіт»

Технологічний параметр	Од. вим.	G 1	G 2	G 3	G 4
Фактичний вміст U в руді	ppm	295,40	134,70	29,00	9,40
Розрахунковий вміст U в руді	ppm	398,00	103,70	13,580	9,34
Маса сухого зразка	г	2500			
Тип застосовуваного реагенту	-	H ₂ SO ₄			
Концентрація реагенту в розчині	г/л	5,00		10,00	20,00
Додатковий окислювач	-	KCl ₃	-		
Концентрація окислювача	г/м ³	28,57	-		
Обсяг продуктивного розчину	мл	271774,0	281719,0	276105,0	283073,0
Відношення розчину до руди	Р/Т	0,18	0,19		
Час вилуговування	хв	44585	44357	44568	44942
	год	743	739	743	749
	діб	31			
Витрата розчину	мл/хв	6,10	6,35	6,20	6,30
	м/добу	2,00	2,10	2,00	2,10
Маса отриманого U	мг	1,60	2,30	3,30	2,30
Кількість отриманого U	ppm	5,90	9,40	12,0	8,20
Кислотність розчину, рН	-	1,36	1,34	1,20	1,08
Значення окислювально-відновного потенціалу	мВ	437,00	376,07	363,60	373,60
Вилучення металу	%	67,60	86,00	96,70	97,80

Аналіз динаміки вилуговування урану при зміні концентрації кислоти в розчині дозволив вивести експонентну залежність з кінетичним параметром a (рис. 1).

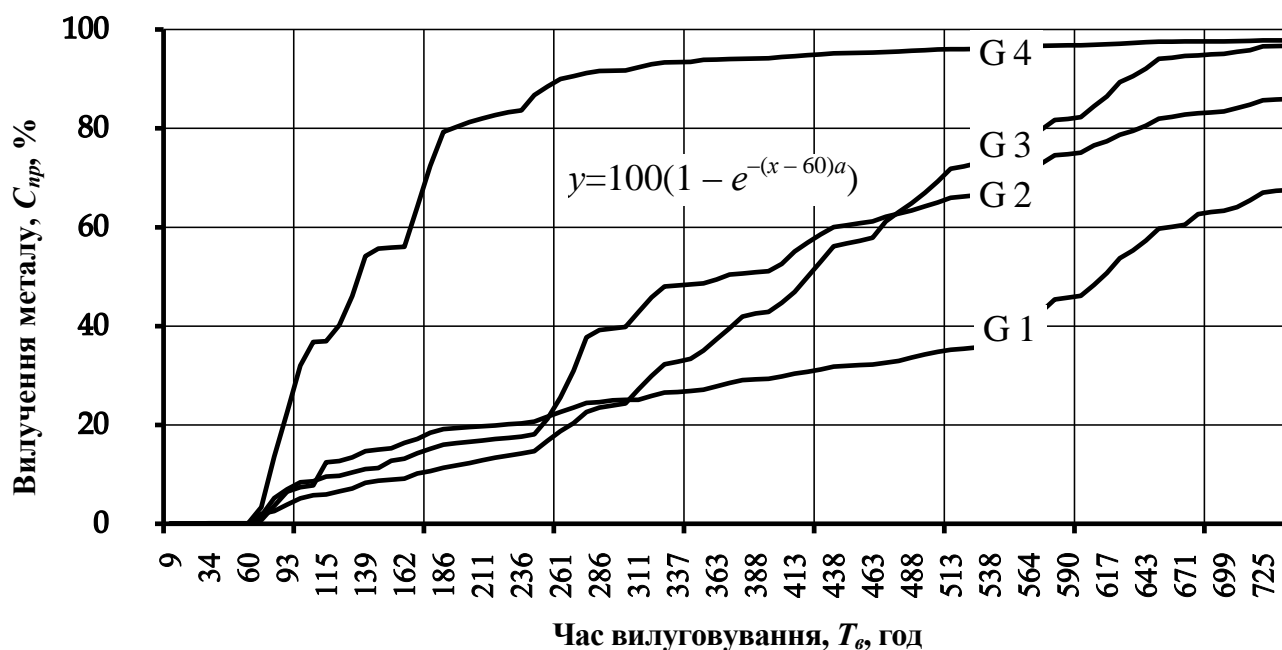


Рис. 1. Динаміка вилуговування урану при різній концентрації кислоти в розчині: G 1 – 5 г/л + KCl₃, G 2 – 5 г/л, G 3 – 10 г/л, G 4 – 20 г/л

Залежності, що описують швидкість вилуговування урану, мають експонентний вигляд

$$C_{np} = 100(1 - e^{-(T_g - 60)\alpha}), \%, \quad (1)$$

де α – швидкість вилучення металу для оброблюваного обсягу порід, $\alpha = 0,003 - 0,01$ 1/год; T_g – час вилуговування, год;

За результатами лабораторних дослідів закислення масиву руди при видобуванні урану рекомендується проводити розчинами з концентрацією кислоти 10 – 15 г/л, а вилуговування – розчинами з концентрацією кислоти 8 – 12 г/л. Для інтенсифікації вилуговування необхідно збільшити час взаємодії робочих розчинів з гірничою масою, що можна досягти збільшенням відстані між свердловинами до 25 – 50 м при достатній проникності масиву рудних покладів.

До теоретичних методів моделювання фізико-хімічних процесів при видобуванні урану методом СПВ були віднесені математичні, хімічні й фізичні. Фізико-математичні дослідження містили розробку моделі міграції продуктивних розчинів на основі методу скінченних різниць. Алгоритм скінчено-різницевого рішення диференціального рівняння фільтрації в гірських породах покладено в основу програмного забезпечення «ModFlow» (Schlumberger W.S.), використаного для дослідження процесів руху продуктивних розчинів при підземному вилуговуванні урану. При задаванні меж області міграції враховувалося, що гідродинамічний та фізико-хімічний впливи на масив ураноносних пісковиків невисокої проникності обмежено контурами рудних тіл і невеликою приконтурною зоною навколо них шириною 30 – 40 м. Для коректного відображення в моделі гідродинамічно ізольованої області міграції її межі розташовані на відстані не менше 200 м від контуру найбільшого рудного тіла № 3 родовища «Ульзіт». Така схематизація при складанні моделі допустима при уповільненому водообміні, слабкому природному потоці підземних вод і низькій інфільтрації, характерній для пустельної території родовища «Ульзіт».

Фільтрація технологічного розчину, міграція кислоти і розчиненого урану в рудному масиві, що відпрацьовується, описували системою диференціальних рівнянь

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial H}{\partial z} \right) + Q = n \frac{\partial H}{\partial t}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C_1}{\partial x} - v_x C_1 \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C_1}{\partial y} - v_y C_1 \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial C_1}{\partial z} - v_z C_1 \right) - \alpha_1 C_1 + q_1 = n_a \frac{\partial C_1}{\partial t}, \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C_2}{\partial x} - v_x C_2 \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C_2}{\partial y} - v_y C_2 \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial C_2}{\partial z} - v_z C_2 \right) - \alpha_2 C_2 + q_2 = n_a \frac{\partial C_1}{\partial t}. \quad (4)$$

У рівняннях (2 – 4) прийнято: H – напір (рівень) підземних вод; K_x , K_y , K_z – компоненти коефіцієнта фільтрації вздовж осей Ox , Oy і Oz , відповідно; Q – розподіл джерел і стоків в області міграції (закачних і відкачних свердловин,

відповідно); n – пористість; C_1 і C_2 – відповідно концентрація кислоти і розчиненого урану в підземних водах; D_x , D_y – коефіцієнти гідродинамічної дисперсії; v_x , v_y – компоненти швидкості фільтрації; n_a – активна пористість; α_1 – кінетичний коефіцієнт, що сумарно враховує витрату кислоти на розчинення урану і реакції кислоти з вміщуючими породами; α_2 – кінетичний коефіцієнт, що характеризує необоротне поглинання урану при його міграції між закачними і відкачними свердловинами; q_1 – інтенсивність надходження кислоти до масиву при закачуванні через свердловини, q_2 – інтенсивність надходження урану до порового розчину при його розчиненні, що залежить від концентрації кислоти в розчині й урану в твердій фазі. Коефіцієнти D_x і D_y визначають за формулами $D_x = \delta v_x$ та $D_y = \delta v_y$, де: δ – параметр дисперсності гірської породи. Параметри масообміну приймали постійними для областей відпрацювання.

Враховуючи малу потужність проникних порід, відсутність витриманих водотривких шарів, весь відпрацьований ураноносний масив пісковиків моделювався як єдиний комплекс. При розрахунках були прийняті наступні вихідні дані: коефіцієнт фільтрації 1 м/добу, інфільтрація 5 мм/рік, пористість 0,1, активна пористість 0,05, кінетичні параметри масообміну $\alpha_1 = 0,6$ діб⁻¹, $\alpha_2 = 0,001$ діб⁻¹. На межі області задавався усталений рівень підземних вод 1030 м над рівнем Світового океану. За вертикаллю область апроксимувалась 10-ма шарами потужністю 20 м, у кожному з яких початковий вміст урану в твердій фазі задавався згідно з середнім значенням для даної ділянки родовища.

У третьому розділі виконано теоретичні дослідження процесів інтенсифікації при вилуговуванні урану. Крім поданих результатів промислових і лабораторних досліджень був виконаний аналіз параметрів проникності гірських порід і хімічного складу підземних вод. Встановлено, що породи рудоносних горизонтів родовища «Ульзіт» характеризуються коефіцієнтом фільтрації, що змінюється від малих (0,1 м/добу) до середніх значень (> 10 м/добу). Водопровідність порід виявилась невисокою, зазвичай до 25 м²/добу, в окремих випадках понад 50 м²/добу. Рівні підземних вод на родовищі, залежно від форми рельєфу, знаходились на глибині 1,4 – 7,5 м з абсолютними відмітками 1076 – 1078 м. Хімічний склад підземних вод родовища однотипний. Це хлоридно-сульфатні, магнієво-натрієві, рідше натрієві води з мінералізацією 3 – 5 г/л, з нейтральним, слаболужним середовищем. Загальна жорсткість води коливається від 7,5 до 34,0 мг -екв./л.

Для підземних вод водоносних горизонтів характерна відсутність окисного заліза, невеликий вміст закисного заліза (2,8 – 7,3 мг/л) і присутність сірководню до 10,2 мг/л. Вміст урану в підземних водах коливається від 3×10^{-5} до 3×10^{-4} г/л. У нижньому і середньому продуктивних горизонтах вміст урану у воді становив $3,0 - 5,4 \times 10^{-5}$ г/л, у верхньому горизонті вміст більш високий – $1,0 - 3,0 \times 10^{-4}$ г/л. Відповідно до запропонованої гексагональної схеми закладення геотехнологічних свердловин було виконано моделювання розробки рудного тіла № 1 розкритої ділянки родовища «Ульзіт» (табл. 3).

Параметри відпрацювання рудного тіла № 1 родовища «Ульзіт»

№ блоку	Колір комірки (рис. 2, а)	Закачні свердловини			Відкачні свердловини			Период розробки, діб	Дебаланс, %
		N	Q _{0,2}	Q _{Σ,2}	N	Q _{0,1}	Q _{Σ,1}		
1	Червоний	31	20	620	9	80	720	0 – 60	13,9
2	Зелений							60 – 120	
3	Помаранчовий							365 – 425	
4	Синій							425 – 485	

У табл. 3 подано наступні умовні позначення: N – кількість свердловин, шт.; Q_0 – дебіт однієї свердловини, м³/добу; Q_{Σ} – сумарний дебіт свердловин, м³/добу.

Дебаланс по свердловинах визначається як відношення різниці сумарних дебітів до сумарного дебіту відкачних свердловин

$$\eta = \frac{Q_{\Sigma,1} - Q_{\Sigma,2}}{Q_{\Sigma,1}} 100\% . \quad (5)$$

Міграція кислотного розчину і розчиненого урану в відпрацьовуваному масиві в умовах залягання рудного тіла № 1 родовища «Ульзіт» на площі до 60 000 м² (6 га) в інтервалі абсолютних відміток 840 – 1020 м носить тривимірний характер. З урахуванням технологічних можливостей передбачалося послідовне спадне відпрацювання рудних тіл №№ 1 – 5 на даній ділянці по блоках, що складаються з гексагональних комірок. Розташоване зверху в інтервалі абсолютних відміток 1010 – 1020 м рудне тіло № 1 пропонується відпрацьовувати чотирма блоками, кожен з яких складається з 9 комірок (рис. 2, а). Застосування гексагональної схеми дозволяє раціонально розташувати свердловини на ділянці та використовувати їх для кількох горизонтів відпрацювання. Для рудного тіла № 1 пропонується покриття гексагональними комірками охоплює понад 90% його площі. Фактично, зважаючи на поступове зміщення знижень рівня підземних вод, розчини будуть фільтруватися через всю площу рудного тіла, хоча і з різною інтенсивністю.

У результаті виконання теоретичного моделювання визначено рівні та напрямки руху підземних вод при відпрацюванні рудного тіла № 1 родовища «Ульзіт». При відпрацюванні кожного блока навколо нього формується депресійна воронка з локальними пониженнями у відкачних свердловинах до 3 м рівня підземних вод. При цьому швидкість фільтрації поблизу свердловин досягає 2 м/добу. Зважаючи на неповне покриття комірками ділянки рудного тіла і виходу деяких комірок за його межі можливо невелике, до 5 – 10 м, розтікання частини розчину за контури рудного тіла. Незначні залишки цих розчинів з непрореагованою кислотою можуть кілька місяців перебувати за межами рудного тіла. Середня концентрація урану в продуктивному розчині при відпрацюванні коливалась від 30 до 80 мг/л, що при сумарному обсязі відкачених розчинів забезпечує вилучення 9 – 10 т урану з рудного тіла № 1, що дорівнює 74% вилучення урану. Також запропоновано рекомендації з фізико-хімічної активізації ділянок кислотного реагування та запобігання кольтатації.

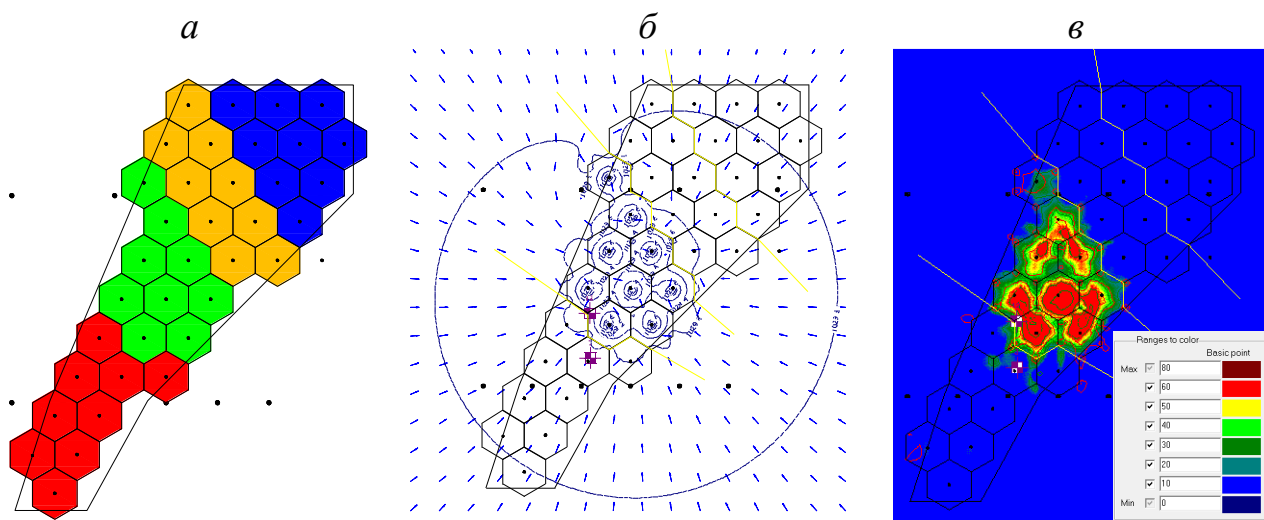


Рис. 2. Порядок відпрацювання рудного тіла № 1 родовища «Ульзіт» (а): червоні комірки – блок № 1; зелені – № 2; помаранчові – № 3; сині – № 4; рівні та напрямки руху підземних вод на завершальних етапах відпрацювання рудного тіла № 1 у блоці № 2 (б); чорні лінії – контури видобувних комірок, жовті – контури блоків; розподіл концентрацій реагенту (червоні ізолінії) і розчиненого урану (шкала кольорів) наприкінці відпрацювання блока № 2 (в)

У четвертому розділі виконано обґрунтування технологічних параметрів розробки уранових родовищ методом СПВ. При обґрунтуванні параметрів погоризонтного способу відпрацювання відокремлених рудних тіл виконана побудова конструкцій свердловин, починаючи з прифільтрових зон нижніх горизонтів. Кінцевий діаметр свердловини повинен забезпечувати задану продуктивність і проведення необхідного комплексу геотехнологічних робіт. Для ефективної експлуатації свердловин зі змінними за довжиною діаметрами, виконують якісну цементацію затрубного простору. Кінцевий діаметр бурового інструменту визначений з умови $D_b = D_m + 2b$, де: D_b – діаметр бурового інструменту, мм; D_m – необхідний діаметр муфти обсадної колони, мм; b – розмір зазору, мм. При $D_b = 250$ мм b складатиме 20 – 50 мм. Чим менше вихід колон, тим менше слід приймати зазор. Так, наприклад, при бурінні свердловин на нафту і газ застосовують зменшені значення b , які дорівнюють 7 – 15 мм. Це можливо досягти тільки із застосуванням високоякісних цементних розчинів при ефективному технологічному процесі цементування свердловин.

Запропонований погоризонтний спосіб підготовки родовищ характеризується високим ступенем концентрації гірничих робіт за рахунок застосування групових свердловин, без необхідності буріння окремих свердловин для відокремлених рудних тіл. Конструкція групових свердловин дозволяє поінтервально відпрацьовувати кілька рудних тіл, колони яких складаються з сальника-зонта, фільтрів, промивних вікон і сальників відповідних діаметрів. Відпрацювання відокремлених рудних тіл проводять залежно від потужності та проникності безрудних проміжків окремо один від одного і спільно, зверху вниз і знизу нагору, що дозволяє відокремити кожен горизонт закислення або вилуговування від інших.

Ще однією перевагою даного способу є відсутність обов'язкової цементації затрубного простору. Обґрунтованість застосування даної схеми визначається тим, що дрібні кільцеві зазорні щілини і присутність у стволі свердловин розчину з глини практично повністю виключають рух розчинів по кільцевих зазорах, що утворюються послідовно від одного фільтра до іншого. Найбільша ефективність буде досягнута із застосуванням поліетиленових труб, які можна опускати на глибину до 300 м, із з'єднанням стиків за допомогою зварювання. Фізичний і хімічний склади гірських порід і підземних вод безпосередньо визначають тип насосів, конструкцію фільтрів і обладнання до них, від якісного добору яких залежить термін їх ефективної служби.

За результатами моделювання та згідно з методикою НАК «Казатомпром», яка була адаптована до умов відпрацювання родовищ Монголії, були обґрунтовані параметри гексагональної схеми розташування свердловин (рис. 3). У програмі «MathCad» були виконані розрахунки основних геотехнологічних параметрів. Аналіз рекомендованих технологічних параметрів показав, що вони знаходяться у інтервалах, що відповідають показникам відпрацювання уранових руд в подібних геотехнологічних умовах Казахстану, Узбекистану, Росії та України (табл. 4). У завершальній частині розділу були розроблені інженерні заходи, що попереджають кольматацію фільтрів і прифільтрових зон свердловин.

Відпрацювання родовища «Ульзіт» є рентабельним при організації модульної видобувної ділянки, на якій проводитиметься видобування продуктивного розчину, сорбція його на смолах з подальшим отриманням насичених продуктивних розчинів. Переробка розчинів та отримання готової продукції у вигляді окису-закису урану планується на родовищі «Хайрхан», де працюватиме завод зі збагачення урану. Відстань між родовищами «Ульзіт» і «Хайрхан» становить 420 км. Така схема відпрацювання родовища з початковою продуктивністю 100 т/рік і подальшим збільшенням до 200 – 300 т/рік є рентабельною.

Оцінка скорочення витрат при видобуванні урану методом СПВ виконана на прикладі родовища «Ульзіт», геотехнологічні умови якого більш складні, порівняно з родовищами «Хараат», «Хайрхан» і «Гурван-Сайхан». Для розкритої ділянки родовища «Ульзіт» перекривання площ горизонтальних проєкцій рудних тіл №№ 1 і 3 становлять від 60000 до 360300 м² із загальним значенням перекриття площ, рівним 62%. При цьому мінімальна щільність розташування свердловин складає 0,002 м⁻² при радіусі видобувної комірки $R_o = 25$ м і відстанями по вертикалі між рудними тілами 20 – 150 м. Найбільший рівень ресурсозбереження досягається при бурінні свердловин до найглибших рудних тіл №№ 4 і 5. Згідно виконаних розрахунків, застосування погоризонтного способу підготовки відокремлених рудних покладів на родовищі «Ульзіт» дозволить скоротити витрати на буріння (\$ 50 п.м) за рахунок поєднання свердловин, що становитиме \$ 2,508 млн.

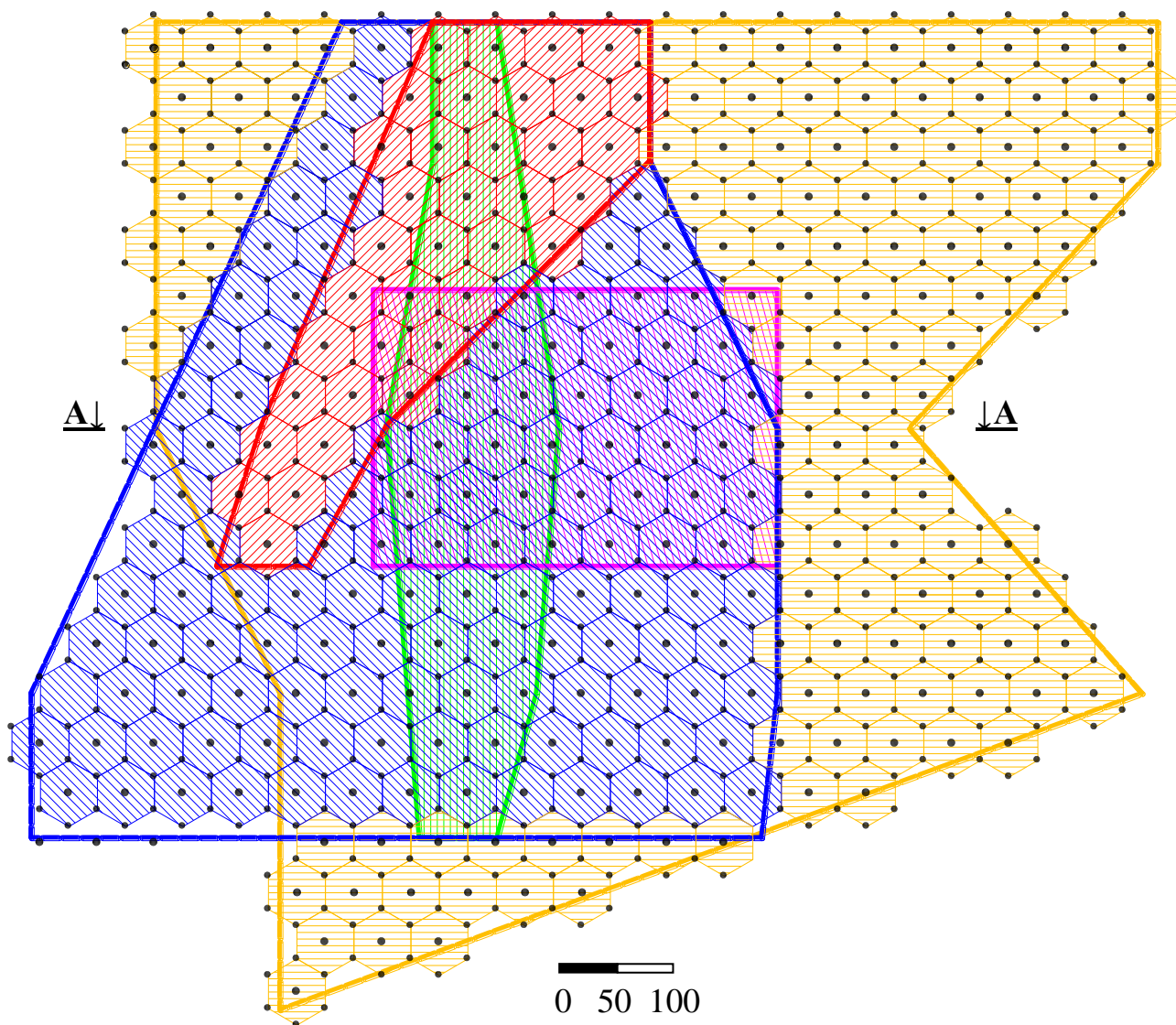
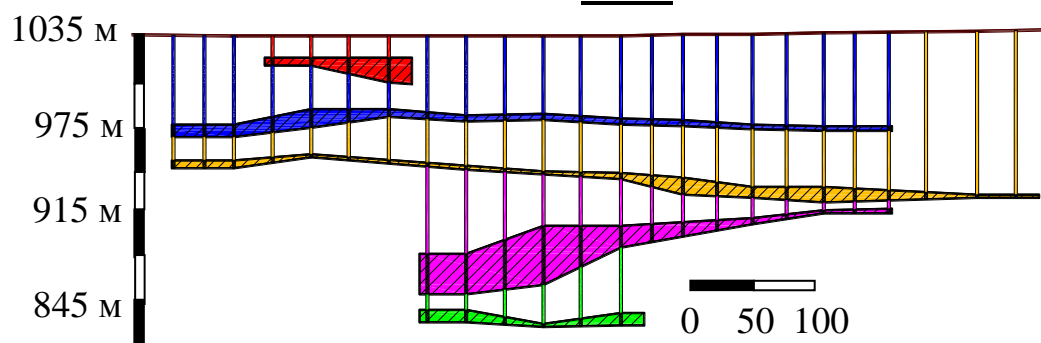


Рис. 3. Технологічна схема погоризонтного способу підготовки відокремлених рудних тіл родовища «Ульзіт», яка представлена у розрізі А – А (а) і суміщеному плані (б): червоний колір рудного тіла і свердловин – горизонт № 1; синій – № 2; жовтий – № 3; пурпурний – № 4; зелений – № 5

Рекомендовані геотехнологічні параметри видобування урану

Родовище	«Хараат», «Хайрхан», «Гурван-Сайхан»	«Ульзіт»
Параметр		
Радіус гексагональної комірки, м	22,5 – 44,3	12,5 – 26,1
Дебіт відкачної свердловини, м ³ /добу	121,0 – 196,3	41,7 – 84,3
Час заокислення блока, діб	7,5 – 10,1	16,8 – 20,1
Час вилуговування блока, діб	28,3 – 33,7	63,2 – 75,4
Вміст урану в розчині, мг/л	48,7 – 53,9	66,7 – 111,8

Застосування погоризонтного способу підготовки відокремлених рудних покладів на родовищі «Ульзіт» крім економії коштів дозволить більш ніж у 2 рази скоротити загальний час відпрацювання запасів. Застосування раціонального радіусу добувної комірки при гексагональній схемі розташування свердловин на родовищах «Хараат», «Хайрхан» і «Гурван-Сайхан» дозволить заощадити до \$ 0,9 млн для кожного родовища, що становить близько \$ 17,821 тис. на місяць.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота є закінченою науково-дослідною роботою, в якій вирішена актуальна науково-практична задача обґрунтування геотехнологічних параметрів погоризонтного відпрацювання уранових родовищ Монголії з урахуванням проникності проміжних товщ та сезонного графіка робіт.

У ході виконання роботи отримано наступні результати.

1. За результатами проведених промислових досліджень встановлено закономірності зміни показників урановмісних руд за площею і глибиною розкритих гідрогенних родовищ Монголії. Визначено їх вигляд, структуру, походження, речовинний склад, кількість покладів, їх форму, розміри, вміст урану та гідрогеологічні умови залягання. Параметри розкриття родовищ виявили ідентичну природу походження, повністю відповідну умовам вилуговування.

2. Параметри вивчених покладів мають типовий для гідрогенних родовищ урану вигляд і форму (горизонтальні, шаруваті і роли, лінзо-, стрічко- і гніздоподібні рудні тіла), розміри (200 – 4000 м) і середній вміст урану (0,036 – 0,066%). Рудні поклади локалізуються на 3 – 7 гіпсометричних рівнях на глибинах 18 – 300 м (середнє 100 м). Окремі рудні тіла мають потужність до 7,0 м і сумарну потужність по свердловинах понад 10 м; всі рудні поклади розташовані у водонасиченому шарі з водопровідністю 0,2 – 370 м²/добу, коефіцієнтом фільтрації 0,1 – 10,0 м/добу, мінералізацією води 0,7 – 7,0 г/л.

3. У лабораторних умовах досліджено показники хімічного складу підземних вод, вмісту урану і динаміки його вилучення, а також радіологічні властивості 62 його елементів-супутників. Визначено хімічний склад підземних вод родовищ, для яких характерна відсутність окисного заліза та вміст закисного заліза у межах 2,8 – 7,3 мг/л, присутність сірководню до 10,2 мг/л і вміст урану 3×10^{-5} – 3×10^{-4} г/л.

4. Виявлені елементи-супутники урану були розподілені на 3 групи: з підвищеним фоновим вмістом і стійкими кореляційними зв'язками з ураном (Th, Rb, Cs, Cu, Zn, Pb, Ni, V), зі слабкими і нестійкими кореляційними зв'язками з ураном (Cd, Yb, Zr, As, Ga, Mo, Be, Nd, Na, La, Co, Ce) й елементи без кореляційних зв'язків з ураном (Ba, Ca, Y, Sc, Se, Cr). Динамічний процес вилучення урану характеризувався ступеневою залежністю і забезпечувався безперервною подачею перекису водню з середньою концентрацією 0,06 г/л (100%) і тривалентного заліза. Закислення рудоносної маси проводилося розчинами з концентрацією сірчаної кислоти 10 – 15 г/л, а вилуговування – розчинами з концентрацією кислоти 8 – 12 г/л.

5. На основі методу скінченних різниць розроблена фізико-математична модель видобування урану методом СПВ, яка була адаптована для умов родовища «Ульзіт». Шляхом моделювання обґрунтовано параметри гексагональної схеми відпрацювання видобувних блоків з високим показником вилучення урану на рівні 97%. Раціональна відстань між свердловинами в комірниці гексагональної схеми відпрацювання родовищ знаходиться у діапазоні від 12,5 до 44,3 м, що для умов сезонності геотехнологічних робіт дозволяє керувати конфігурацією видобувних блоків.

6. Визначено закономірності змін геотехнологічних параметрів при відпрацюванні розглянутих родовищ урану методом СПВ. При відпрацюванні блоків навколо них формуються депресійні воронки з локальними зниженнями рівня підземних вод до 3 м у відкачних свердловинах, причому швидкість фільтрації поблизу свердловин сягає 2 м/добу. Середня концентрація урану в продуктивному розчині коливається від 30 до 80 мг/л, що при сумарному обсязі відкачених розчинів забезпечує вилучення 9 – 10 т урану при локальному розтіканні технологічних розчинів за контури рудних тіл до 10 м.

7. Визначено ефективність застосування раціонального способу підготовки відокремлених рудних покладів урану під метод СПВ, яка дозволяє економити до \$ 2,5 млн на рік. Встановлено, що погоризонтний спосіб підготовки відокремлених покладів на різних глибинах визначається структурою проміжних товщ, проникність яких змінюється від 1,16 до 11,6 Дарсі і дозволяє групувати рудні тіла на суміщені свердловини з різними діаметрами та конструкціями фільтрів, що до 62% знижує витрати на буріння та в 2 рази скорочує час відпрацювання уранових родовищ Монголії.

Основні положення і результати дисертації опубліковані в наступних роботах:

1. Обоснование параметров разработки урановых месторождений Монголии / Б. Жанчив, Д.В. Рудаков, О.Е. Хоменко, Л. Ценджав // Научный вестник НГУ. – 2013. – № 4. – С. 28 – 35.

2. Геотехнологические параметры вскрытия гидрогенных месторождений урана в Монголии / Б. Жанчив, О.Е. Хоменко, Д.В. Рудаков, Л. Ценджав // Зб. наук. пр. НГУ. – Д.: РИК НГУ, 2013. – № 40. – С. 63 – 69.

3. Ценджав Л. Обоснование параметров выщелачивания урана для гидрогенных месторождений Монголии / Л. Ценджав // Зб. наук. пр. НГУ. – Д.: РИК НГУ, 2013. – № 41. – С. 30 – 36.

4. Ценджав Л. Моделирование фильтрации продуктивного раствора при отработке урановых месторождений Монголии / Б. Жанчив, О.Е. Хоменко, Л. Ценджав // Зб. наук. пр. НГУ. – Д.: РИК НГУ, 2013. – № 42. – С. 5 – 11.

5. Ценджав Л. Технология разработки урановых месторождений Монголии методом скважинного подземного выщелачивания / О.Е. Хоменко, Л. Ценджав // Зб. наук. пр. НГУ. – Д.: РИК НГУ, 2013. – № 43. – С. 5 – 11.

6. Ценджав Л. Монгол улсын ураны үйлдвэрлэл, Цөмийн эрчим хүчний салбарын Өнөөгийн байдал, хөгжлийн хэтийн төлөв / Б. Жанчив, О.Е. Хоменко, Л. Ценджав // Уул уурхайн сэтгүүл. Улаанбаатар: ШУТИС-ийн УУИС. – 2011. – № 1. – Х. 25 – 29.

7. Ценджав Л. Современное состояние и тенденции развития урановой отрасли Монголии / Б. Жанчив, О.Е. Хоменко, Л. Ценджав // Школа подземной разработки: междунар. научн.-техн. конф. – Ялта: Арт-Пресс, 2011. – С. 122 – 125.

8. Ценджав Л. Исследование условий залегания, состава и свойств урановых месторождений Монголии / О.Е. Хоменко, Л. Ценджав // Форум горняков: междунар. научн.-практ. конф. – Днепропетровск: РВК НГУ, 2012. – Т. 1. – С. 120 – 125.

Особистий внесок здобувачки в роботах, опублікованих у співавторстві: [1, 2, 4, 5, 8] – виконання досліджень з обґрунтування геотехнологічних параметрів розробки гідрогенних родовищ урану в Монголії та аналіз результатів, [6, 7] – обробка й оформлення результатів досліджень.

АНОТАЦІЯ

Ценджав Л. Обґрунтування геотехнологічних параметрів розробки уранових родовищ Монголії. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.02 – підземна розробка родовищ корисних копалин. – Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» МОН України, Дніпропетровськ, 2014.

Захищаються результати промислових, лабораторних і теоретичних досліджень з обґрунтування геотехнологічних параметрів розробки гідрогенних родовищ урану східної Монголії: «Хараат», «Хайрхан», «Гурван-Сайхан» і «Ульзіт».

Проаналізовано й обґрунтовано методи виконання досліджень з визначення зміни урановмісних компонентів у рудах і межі зміни в них речовинних та радіологічних властивостей, а також закономірності зміни швидкості вилуговування урану при зміні концентрації сірчаної кислоти і добавок до технологічного розчину. Розроблено методики виконання досліджень фізико-хімічних властивостей уранових руд. Промислові дослідження виконувались за допомогою механічних і геофізичних методів,

лабораторні дослідження – геохімічними методами, а теоретичні – математичними і фізико-хімічними методами моделювання.

Запропонований погоризонтний спосіб підготовки відокремлених покладів на різних глибинах дозволяє групувати відпрацювання рудних тіл суміщеними свердловинами з різними діаметрами і конструкцією фільтрів, та визначається за структурою проміжних товщ, коефіцієнт проникності яких змінюється від 1,16 до 11,6 Дарсі. Це більш ніж у 2 рази знижує як витрати на буріння геотехнологічних свердловин, так і скорочує час відпрацювання уранових родовищ Монголії. Обґрунтована раціональна відстань між закачними і відкачними свердловинами в діапазоні від 12,5 до 44,3 м визначається експоненціальною залежністю насичення продуктивних розчинів, що для умов сезонності ведення робіт дозволяє досягати вилучення урану від 74 до 97%.

Результати досліджень з обґрунтування геотехнологічних параметрів розробки уранових родовищ Монголії були прийняті до впровадження в технічні проекти Урановою енергетичною компанією «Мон-Атом». Впровадження розроблених технологічних рішень дозволяє економити понад \$ 2,5 млн на рік по кожному з відпрацьованих родовищ.

Ключові слова: гідрогенні родовища, розкривні свердловини, фізичні і хімічні властивості, проникність масиву, динаміка вилучення, погоризонтний спосіб підготовки, гексагональна схема відпрацювання.

АННОТАЦІЯ

Ценджав Л. Обоснование геотехнологических параметров разработки урановых месторождений Монголии. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.15.02 – подземная разработка месторождений полезных ископаемых. – Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет» МОН Украины, Днепрпетровск, 2014.

Защищаются результаты промышленных, лабораторных и теоретических исследований по обоснованию геотехнологических параметров разработки гидрогенных месторождений урана в восточной Монголии: «Хараат», «Хайрхан», «Гурван-Сайхан» и «Ульзит».

Проанализированы и обоснованы методы проведения исследований по определению изменения урансодержащих компонентов в рудах и пределы изменения в них вещественных и радиологических свойств, а также закономерности изменения скорости выщелачивания урана при изменении концентрации серной кислоты и добавок к технологическому раствору. Разработаны методики проведения исследований физико-химических свойств урановых руд. Промышленные исследования выполнены с помощью механических и геофизических методов, лабораторные исследования – геохимическими методами, а теоретические – математическими и физико-химическими методами моделирования.

Промышленные исследования по вскрытию месторождений показали идентичную природу происхождения, полностью соответствующую условиям

выщелачивания. Рудные залежи локализуются на трех и более гипсометрических уровнях от 18 до 300 м (среднее 100 м). Параметры рудных тел имеют типичный для гидрогенных месторождений урана вид, форму и размеры (200 – 4000 м) и содержание урана (0,036 – 0,066%). Отдельные рудные тела имеют мощность до 7,0 м и суммарную мощность по скважинам более 10 м.

Лабораторные исследования выполнены для показателей химического состава подземных вод, наличия урана и динамики его извлечения, а также радиологических свойств на 62 элемента-спутника урана, которые были распределены на 3 группы – с повышенными фоновыми содержаниями и устойчивыми корреляционными связи с ураном, со слабыми и неустойчивыми связями и без связей. Динамичный процесс извлечения урана характеризовался степенной зависимостью и обеспечивался непрерывной подачей перекиси водорода со средней концентрацией 0,06 г/л и трехвалентного железа. Закисление горнорудной массы проводилось растворами с концентрацией серной кислоты 10 – 15 г/л, а выщелачивание – растворами с концентрацией кислоты 8 – 12 г/л.

Теоретическим моделированием обосновано рациональное расстояние между скважинами в ячейке гексагональной схемы обработки месторождений в диапазоне от 12,5 до 44,3 м, что для условий сезонности геотехнологических работ позволяет управлять конфигурацией добычных блоков и достигать извлечение урана до 97%. Формирование вокруг блоков депрессионных воронок с локальными понижениями уровня подземных вод в откачных скважинах не превысило 3 м, а скорость фильтрации вблизи скважин достигала 2 м/сут. Концентрация урана в продуктивном растворе колебалась от 30 до 80 мг/л, что при суммарном объеме откаченных растворов обеспечивает извлечение 9 – 10 т урана при локальном растекании технологических растворов за контуры рудных тел до 10 м.

Предложенный погоризонтный способ подготовки обособленных залежей на разных глубинах определяется по структуре промежуточных толщ, коэффициент проницаемости которых изменяется от 1,16 до 11,6 Дарси и позволяет группировать обработку рудных тел совмещенными скважинами с разными диаметрами и конструкций фильтров. Это более чем 2 раза снижает как затраты на бурение геотехнологических скважин, так и сокращает время обработки урановых месторождений Монголии. Обоснованное рациональное расстояние между закачными и откачными скважинами в диапазоне от 12,5 до 44,3 м определяется экспоненциальной зависимостью насыщения продуктивных растворов, что для условий сезонности ведения работ позволяет достигать извлечение урана от 74 до 97%.

Результаты исследований по обоснованию геотехнологических параметров разработки урановых месторождений Монголии были приняты к внедрению в технические проекты Урановой энергетической компанией «Мон-Атом». Внедрение разработанных технологических решений позволяет экономить более \$ 2,5 млн в год по каждому из обрабатываемых месторождений.

Ключевые слова: гидрогенные месторождения, вскрывающие скважины, физические и химические свойства, проницаемость массива, динамика извлечения, погоризонтный способ подготовки, гексагональная схема обработки.

ABSTRACT

Tsendzhav L. Justification of geotechnical parameters for mining of uranium deposits in Mongolia. – Manuscript.

The thesis for a Degree of Candidate of technical sciences, specialty 05.15.02 – underground mining of mineral resources. – State Higher Educational Institution «National Mining University», Dnipropetrovs'k, 2014.

The results of industrial, laboratory and theoretical studies on the justification of geotechnical parameters of mining of hydrogenic uranium deposits in eastern Mongolia «Haraat», «Khairkhan», «Gurvan – Sayhan» and «Ulzit» are defended.

The methods of research on evaluation of uranium components in ores and the ranges of the physical and radiological property variation, as well as the patterns of in the uranium leaching rate depending on concentration of sulfuric acid and additives for technological solution have been analyzed and justified. The methods of performing the studies of physical and chemical properties of uranium ores have been developed. The industrial studies were carried out with using mechanical and geophysical methods; laboratory tests were performed by geochemical methods. Theoretical studies were performed by mathematical modeling, and physical and chemical methods.

The proposed «by-layer» approach to preparation of separate ore bodies at different depths is determined by the structure of rocks of permeability varying from 1,16 to 11,6 Darcy, which allows successive leaching of ore bodies by wells with different diameters and filter design. This reduces the costs of drilling geotechnical wells more than 2 times, and shortens time for processing of uranium deposits in Mongolia. The rational distance between pumping and extracting wells ranged from 12,5 to 44,3 m is justified by the exponential function depending on saturation of the leachate that for the seasonality of mining allows extracting from 74 to 97% of available reserves of uranium.

The results of feasibility studies of geotechnological parameters of uranium deposits in Mongolia have been adopted to implement in the projects of Uranium Power Company «Mon-Atom». Implementation of the proposed engineering solutions enables saving of more than \$ 2,5 million a year for each of these deposits.

Keywords: hydrogenous deposits, opening wells, physical and chemical properties, rock permeability, recovery rate, by-layer approach of preparation, hexagonal pattern of leaching.

ЦЕНДЖАВ ЛХАГВА

**ОБҐРУНТУВАННЯ ГЕОТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
РОЗРОБКИ УРАНОВИХ РОДОВИЩ МОНГОЛІЇ**

(Автореферат)

Підп. до друку 06.02.2014. Формат 60×90/16
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 1,0
Обл. -вид. арк. 1,0 Тираж 120 пр. Зам. № 36

Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»
Україна, 49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19

