

УДК 550.4:574.3

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.101.12>

В. Верховцев, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.
e-mail: verkhovtsev@ukr.net

К. Суцук, канд. геол.-мінералог. наук, ст. наук. співроб.,
e-mail: IGNS_Sushchuk@nas.gov.ua

Ю. Тищенко, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.
e-mail: u-risk@ukr.net

С. Мещеряков, пров. інж.
e-mail: IGNS_Meshcheriakov@nas.gov.ua
ДУ "Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України",
просп. Академіка Палладіна, 34а, м. Київ, 03142, Україна;

І. Колябіна, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.,
e-mail: IGNS_Koliabina@nas.gov.ua;
Інститут геологічних наук НАН України,
вул. О. Гончара, 55б, м. Київ, 01054, Україна

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ДОБУВАННЯ УРАНУ СПОСОБОМ ПІДЗЕМНОГО СВЕРДЛОВИННОГО ВИЛУГОВУВАННЯ (НА ПРИКЛАДІ МИХАЙЛІВСЬКОГО ПОЛІГЕННОГО РОДОВИЩА)

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол.-мінералог. наук, проф. В.М. Загнітком)

Ядерна енергетика є важливою складовою національної безпеки України. Забезпечення цієї галузі власними сировинними ресурсами – одне з пріоритетних перспективних завдань держави. Одним із напрямів успішного вирішення цього завдання є створення сприятливого інвестиційного клімату для залучення приватних суб'єктів господарювання у розвиток вітчизняної видобувної галузі.

В Україні розвідані численні родовища урану, які характеризуються відносно незначними запасами, у зв'язку з чим до недавнього часу не вважалися перспективними для відпрацювання державною видобувною компанією "Східний гірничо-збагачувальний комбінат" (м. Жовті Води). Ці родовища не є рентабельними для розробки традиційними методами – шахтним чи кар'єрним, однак можуть бути відпрацьовані більш дешевим методом підземного свердловинного вилуговування, який не передбачає розкриття горизонтів геологічних порід. У разі правильної організації експлуатаційних та відновлювальних робіт існує реальна можливість суттєвого зниження негативних наслідків для довкілля.

Висвітлено деякі аспекти узагальнених результатів аналізу впливу на довкілля нової діяльності, що передбачає створення приватного підприємства з дослідно-промислової розробки та подальшого видобування урану на Михайлівському родовищі в Казанківському районі Миколаївської області, які стосуються оцінки вибору технології вилучення корисної копалини методом підземного свердловинного вилуговування. Проєктоване підприємство буде складатися з кількох тимчасових видобувних ділянок та стаціонарного проммайданчика переробного комплексу, а також об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури. Після відпрацювання родовища буде проведена рекультивация земель і їх повернення землекористувачам та реабілітація надр, яка забезпечить їх відновлення до передпроектного стану.

На території, яка може бути зачеплена будівництвом та експлуатацією планованого підприємства, проведено натурні польові та лабораторні геоекологічні вишукування та описано їх результати.

Ключові слова: уран, Михайлівське родовище, підземне свердловинне вилуговування, надра, вплив, довкілля, технологічні розчини, кристалічні породи, осадові породи, водоносні горизонти.

Вступ. В урановій промисловості України та інших країн світу виконано багато теоретичних і практичних досліджень для ефективного вилучення урану і деяких супутніх металів на місці залягання руд ("in situ leaching"). Підземне свердловинне вилуговування (ПСВ) з подальшим вилученням цінних компонентів з продуктивних розчинів відкриває широкі можливості для відпрацювання комплексних руд.

Міжнародне агентство з атомної енергії (МАГАТЕ) визнає цю технологію екологічно найчистішим і найбезпечнішим способом видобутку корисних копалин, який не потребує значних витрат на рекультивацию. Видобутий вказаним методом уран належить до найнижчої цінової категорії (Мамілов і др., 1980).

Хоча метод ПСВ урану застосовується переважно для відпрацювання родовищ з невеликим вмістом урану в осадових товщах, здійснюються спроби застосування ПСВ у кристалічних масивах як менш витратного і екологічно шкідливого, порівняно з шахтним або кар'єрним (Лавєрова, 1998; Мамілов і др., 1980; Макаренко та ін., 2005; Олейник і др., 1982; Подземное и кучное выщелачивание..., 2005; Шумлянський та ін., 2007).

Наукова проблематика, пов'язана з подальшою розробкою методу ПСВ щодо родовищ різного типу та в різних геологічних умовах, полягає в необхідності проведення досліджень екологічних наслідків вказаної діяльності.

Метою статті є визначення оптимальних шляхів застосування методу ПСВ для відпрацювання Михайлівського родовища урану з урахуванням особливостей його геологічної будови та вимог щодо зниження негативних екологічних наслідків для підземних водоносних горизонтів та довкілля в цілому.

Короткий опис методу ПСВ. На сьогодні ще не існує загально визнаної геотехнологічної систематизації уранових родовищ. У спеціальній літературі наводяться різні класифікації родовищ урану для видобування способом ПСВ, у яких враховуються умови утворення, морфологія і розміри рудних покладів, літолого-фаціальні, геохімічні особливості руд і рудовмісних порід, гідрогеологічні умови тощо (Мамілов і др., 1980).

Численними дослідженнями доведено, що видобування урану методом ПСВ значно переважає традиційні гірничі способи і за рентабельністю, і за можливостями пом'якшення екологічних наслідків (Лавєрова, 1998; Мамілов і др., 1980; Макаренко та ін., 2005; Олейник і др., 1982; Подземное и кучное выщелачивание..., 2005; Шумлянський та ін., 2007).

Зокрема, у монографії (Шумлянський та ін., 2007) наведено комп'ютерні моделі фізико-хімічних процесів інфільтраційного уранового рудоутворення в еоценовому водоносному горизонті Девладівського родовища, підземного вилуговування урану через свердловини, а також

самовідновлення підземних вод горизонту протягом 1983–2005 рр. Викладено дані моніторингу підземних вод (залишкових технологічних розчинів) продуктивного горизонту та комплекти карт розподілу компонентів-забруднювачів підземних вод станом на 1982, 1991, 1997, 2005 роки. Здійснено комп'ютерне моделювання динаміки зміни залишкових розчинів і вмісних порід продуктивного горизонту та визначено час самовідновлення підземних вод відносно окремих компонентів-забруднювачів.

Рекультивация землі після ПСВ мінімальна, оскільки ця процедура обмежується витяганням обсадних труб і цементуванням стовбура свердловин до рівня глибини оранки, що забезпечує збереження у не порушеному стані денної поверхні. Також відсутня необхідність у створенні відвалів розкритих порід та експлуатації хвостосховищ. Отже, після відпрацювання родовища або окремої його частини способом ПСВ земельні угіддя можуть бути використані в сільському господарстві без будь-яких обмежень.

Раніше в Україні цим методом вже розроблялися уранові родовища – вищезгадане Девладівське та Братське. На розташованому поруч із Михайлівським Сафонівському родовищі у період з липня 1982 р. по грудень 1985 р.

було проведено дослідно-промислову розробку (ДПР) з ПСВ на рудному тілі № 2 і отримано близько 40 тонн урану (за даними КП "Кіровгеологія").

Розробка невеликих уранових родовищ за допомогою сучасних технологій ПСВ потенційно може суттєво поліпшити вітчизняну сировинну базу.

На основі проведених упродовж 2015–2022 рр. комплексних польових і камеральних радіоекологічних досліджень на кількох екзогенних інфільтраційних родовищах урану осадового чохла та Михайлівському полігенному родовищі Українського щита (УЩ) було виконано комплексну оцінку впливу радіологічної ситуації на довкілля досліджуваної території, геолого-економічне обґрунтування перспектив освоєння уранових родовищ та оцінка можливостей застосування способу ПСВ для їх експлуатації.

Коротка характеристика Михайлівського родовища. У **структурно-тектонічному** плані Михайлівське родовище (рис. 1) розташоване в межах Західноінгулецької структурно-формаційної зони на південному схилі УЩ, у верхів'ї Сафонівської палеодепресії, відкритої у бік Причорноморської западини.

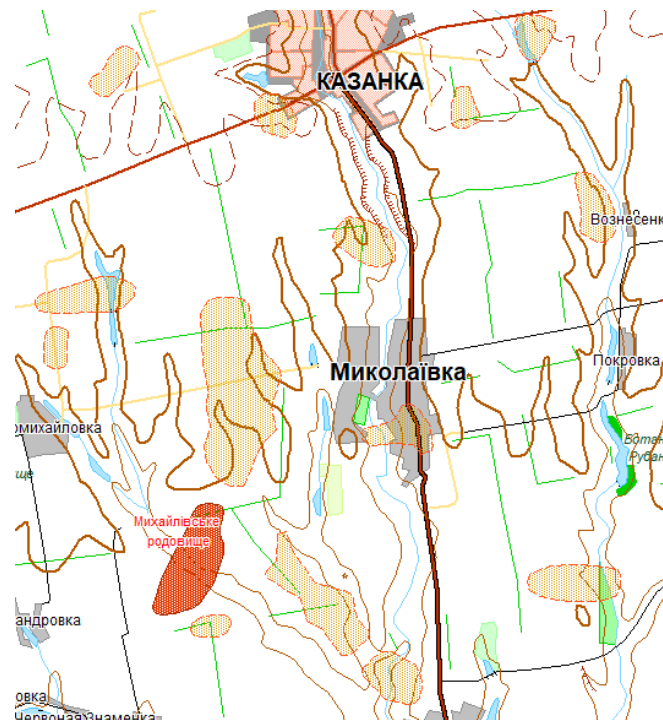


Рис. 1. Михайлівське родовище урану та рудопрояви Михайлівської урановорудної площі

На Михайлівському родовищі уранове зруденіння встановлено в тріщинуватих кристалічних породах (гнейсах, гранітах, мігматитах і пегматитах) та їх корі вивітрювання. Родовище характеризується значними прогностичними ресурсами урану.

Михайлівське родовище є поліхромно-полігенним з проявом трьох рудних етапів та трьох генетичних типів зруденіння (рис. 2). Основна маса руд залягає в гнейсах біотитових з домішкою графіту, які зазнали інтенсивного дроблення, катаклазу, сильно тріщинуваті з накладеними гідротермальними змінами (гематизації, хлоритизації, карбонатизації, піритизації і окварцювання). У гранітах уранове зруденіння локалізоване рідше. Найбільша частка в утворенні промислового уранового зруденіння на родовищі належить гідрогенному типу руд, який потенційно придатний для промислової розробки способом ПСВ.

Оскільки основна маса руд родовища – убогі і бідні, єдиним рентабельним способом їх відпрацювання є метод ПСВ із застосуванням системи закачувальних і відкачувальних свердловин. Враховуючи особливості геологічної будови Михайлівського родовища, рельєф кори вивітрювання, особливості залягання пластів, розташування тріщинуватих зон тощо, може бути застосована система технологічних свердловин, пробурених не вертикально, а під більшим або меншим кутом до геологічних пластів – уздовж ліній їх нахилу або перпендикулярно до них, тобто свердловини будуть пробурені під кутом до денної поверхні. Водночас відкачувальні свердловини забурюються на більшу глибину, ніж закачувальні (рис. 3).

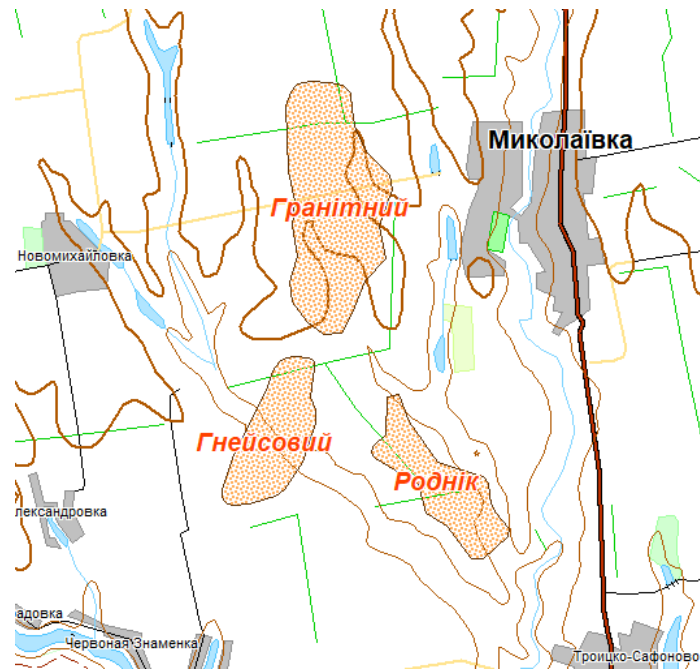


Рис. 2. Рудні поклади Михайлівського родовища

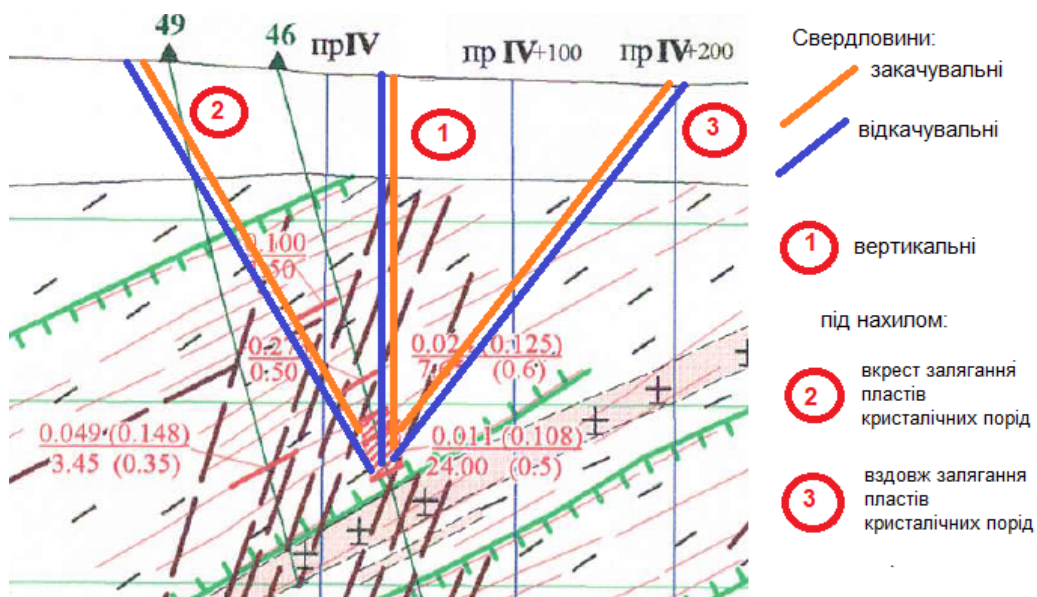


Рис. 3. Варіанти технологічних свердловин для відпрацювання Михайлівського родовища

На стадії оціночних робіт одним з основних завдань було визначення принципової можливості рентабельного вилуговування урану з руд на місці залягання. З цією метою проведено лабораторні і натурні технологічні випробування. Під час лабораторних випробувань для руд найбільш пізньої гіпергенної прожилково-тріщинної уранової черневої мінералізації, сформованої впродовж фанерозою, з концентрацією понад 0,01 %, встановлено добре вилучення урану (до 70–80 %) з отриманням його промислової концентрації в розчині. Цей тип мінералізації створився за рахунок вилуговування урану з різних ендегенних проявів і перевідкладень його в зонах відкритої тріщинуватості. Цьому екзогенному зруденінню, представленому вторинними кофінит-ураново-черневими накопиченнями, у загальному балансі руд Михайлівського родовища належить істотна роль.

У той же час під час натурних випробувань рудних біотитових гнейсів встановлено, що вони мають високу

кислотостійкість і відновні властивості через наявність у них сірководню. Тому сірчана кислота як реагент не може бути застосована через високі її витрати і закупорки шляхів руху розчину гіпсом, що утворюється. Негативним явищем є також висока корозійна активність робочого розчину на основі сірчаної кислоти та агресивність до бетону підземних і ґрунтових вод.

Тому найпоширеніший у практиці спосіб ПСВ урану – з використанням слабких розчинів сірчаної кислоти – малопридатний для відпрацювання Михайлівського родовища. Про це свідчать результати натурних і лабораторних експериментів, які проводились раніше.

Для збільшення ступеня вилуговування урану під час ПСВ зазвичай використовують кілька шляхів: використання іншого вилуговувального агента, підбір окиснювача, підбір концентрацій компонентів вилуговувального розчину. Стислу характеристику окиснювачів наведено в табл. 1.

Для Михайлівського родовища може бути придатне карбонатне або кисневе вилугування.

Карбонатний метод набув найбільшого поширення у США, до його переваг можна віднести: можливість відпрацювання руд з підвищеним вмістом карбонатів ($\text{CO}_2 > 2\%$), високу селективність до урану, меншу мінералізацію продуктивних розчинів, зменшення корозії апаратури. До недоліків належать: невисокий ступінь вилучення урану з руд (60–80 %); повільніша порівняно з кислотним методом кінетика розчинення уранових мінералів ($P:T = 4-6$); менші концентрації урану в продуктивних розчинах; високий ступінь розтікання розчинів за контур відпрацювання, оскільки в процесі вилугування не формуються техногенні геохімічні бар'єри; перехід

у продуктивний розчин до 25 % радію, що міститься у р-вноважній руді.

Карбонатне вилугування базується на утворенні розчинних натрій (амоній)-ураніл-карбонатних комплексів. Під час проведення карбонатного ПСВ як окиснювач використовують перекис водню, а також розчинений кисень. Розчинність кисню пропорційна його парціальному тиску над розчином. Отже, потрібно насичувати розчин киснем під тиском.

Ще одним варіантом технології є так званий безреагентний метод, який полягає в закачуванні у рудоносний горизонт кисню повітря, витримці пласта протягом певного часу і подальшого відкачування продуктивних розчинів.

Принципову схему видобування способом ПСВ показано нижче (рис. 4).

Таблиця 1

Окиснювачі, які найчастіше використовуються в технологіях вилугування урану (Тураев, Жерин, 2005)

Окиснювачі	Недоліки технології
Соли Fe(III)	дефіцит дешевої сировини, дорога технологія її отримання та дорожняча транспортування, зростання концентрації Fe(II) у технологічних розчинах, що призводить до зростання добавки Fe(III) і постійного зростання загального вмісту заліза в робочих розчинах
Перманганат калію	дорожняча реагентів, підвищена корозійна активність
Хлор	дорожняча реагентів, підвищена корозійна активність, депресування сорбції урану хлор-іонами
Гіпохлорит	дорожняча реагентів, підвищена корозійна активність, депресування сорбції урану хлор-іонами
Хлорати	дорожняча реагентів, підвищена корозійна активність, депресування сорбції урану хлор-іонами
Нітрит натрію	необхідна підвищена кислотність, що призводить до недоцільності з економічних, екологічних та технологічних міркувань і до накопичення сполук азоту в робочих розчинах
Азотна кислота	необхідна підвищена кислотність, що призводить до недоцільності з економічних, екологічних та технологічних міркувань і до накопичення сполук азоту в робочих розчинах
Азотиста кислота	необхідна підвищена кислотність, що призводить до недоцільності з економічних, екологічних та технологічних міркувань і до накопичення сполук азоту в робочих розчинах
Перекис водню	дорожняча і вибухонебезпечність сировини
Кисень повітря	низька швидкість процесу, невисока розчинність кисню в робочому розчині
Технологічний кисень	низька швидкість процесу, невисока розчинність кисню в робочому розчині

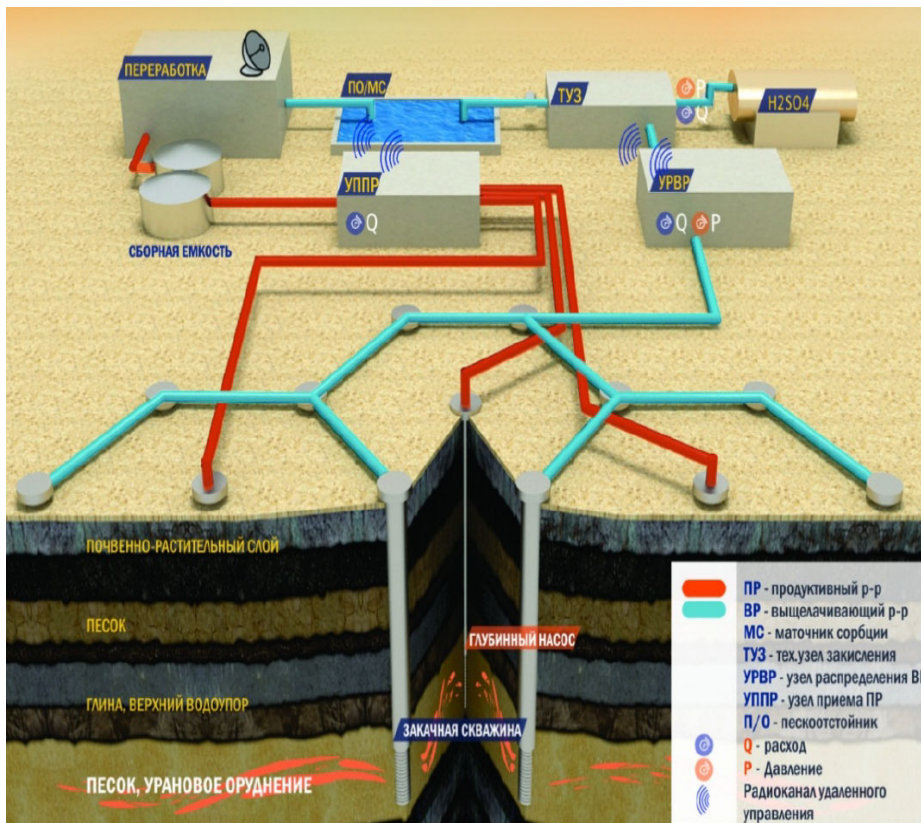


Рис. 4. Принципова схема видобування урану методом підземного свердловинного вилугування

Методи досліджень. У процесі досліджень передусім було проаналізовано і узагальнено існуючі фондові та літературні дані, а також результати попередніх вишукувань, передпроектних досліджень, проектні матеріали, дані власних досліджень і публікацій, виконаних у ДУ "ІГНС НАН України", щодо геологічних, гідрогеологічних та гідрологічних умов, рельєфу, ландшафту, кліматичних особливостей, ґрунтового і рослинного покриву, соціального середовища, стану об'єктів техногенного впливу на прилеглих до планованого підприємства територіях. У процесі робіт було розроблено та апробовано нову методологію досліджень навколишнього середовища шляхом комплексного дозиметричного і радіометричного знімання поверхневого та приповерхневого горизонтів ґрунтів з метою визначення пошукових і радіоекологічних параметрів досліджуваної території та полів аномальної активності вимірних радіаційних показників. Так, проводився відбір проб ґрунтів шпуровим методом до глибини 1 м і природних поверхневих й підземних вод.

Подальші радіологічні дослідження включали: польові дозиметричні вимірювання потужності експозиційної дози гамма-випромінювання (радіаційний фон), потужності еквівалентної дози гамма-випромінювання, польові радіометричні випромінювання щільності потоку радону з ґрунту; лабораторні радіометричні вимірювання питомої гамма-активності проб ґрунту, лабораторні радіометричні вимірювання альфа- та бета-активності проб ґрунту для визначення мас-еквівалентного вмісту та активності урану, лабораторні спектрометричні вимірювання радіонуклідів у пробах ґрунту.

Нижче наведено карту розподілу питомої активності, приведеної до урану, отриману за результатами вимірювання інтенсивності альфа- і бета-випромінювання (рис. 5).

Крім того, проаналізовано методи, технологічні показники, основні технічні параметри обладнання для реалізації планованої діяльності з видобування урану способом ПСВ та оцінено їх екологічні характеристики.

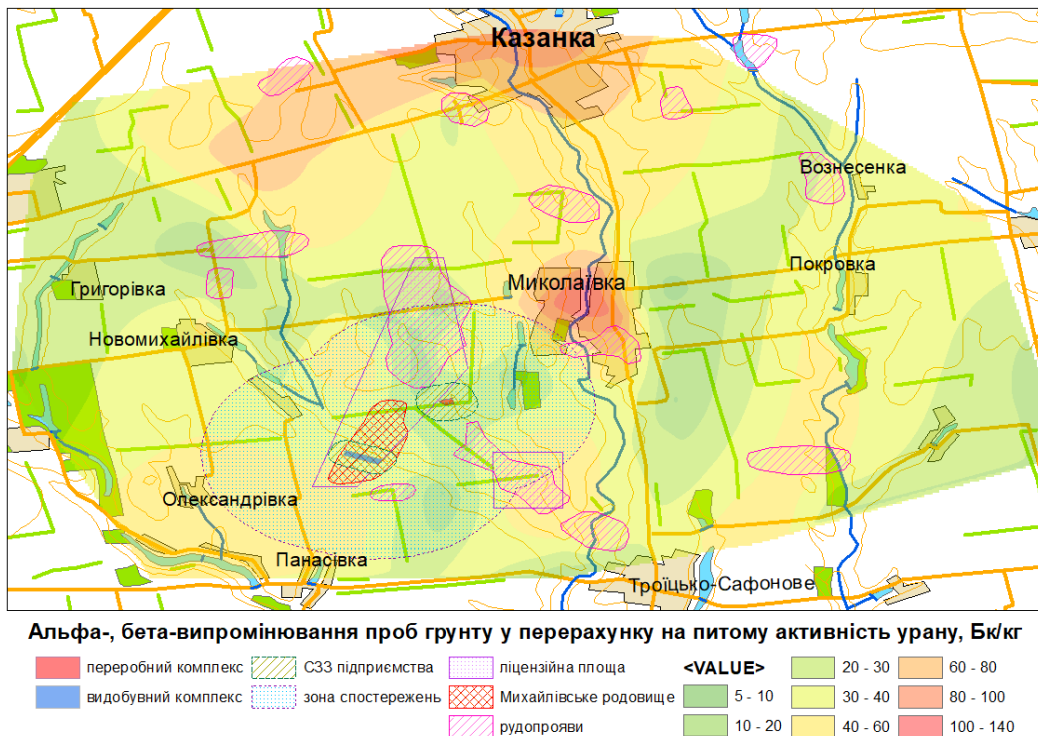


Рис. 5. Активність альфа- та бета-випромінювання, приведена до урану, у пробах ґрунтів

Обговорення результатів. На основі проведених упродовж 2015–2022 рр. комплексних польових і камеральних радіоекологічних досліджень на кількох екзогенних інфільтраційних родовищах урану осадового чохла та Михайлівському полігенному родовищі Українського щита було зроблено комплексну оцінку впливу радіологічної ситуації на довкілля досліджуваної території, геолого-економічне обґрунтування перспектив освоєння уранових родовищ та оцінено можливості застосування способу ПСВ для їх експлуатації.

На Михайлівському полігенному родовищі представлені такі типи уранової мінералізації:

1. Давня вкраплена уранітлова мінералізація, що створена в одному віковому інтервалі із вмісними товщами в ранньому протерозої, з ізотопним віком 1,8 млрд років.

2. Гіпергенна прожилково-вкраплена або прожилково-штокверкова ураніт-настуран-кофінітова мінералізація з найбільшим вмістом урану в рудних інтервалах (від

0,05 % до 2%), виявлена серед гнейсів та гранітів у вигляді тонких прожилків (1–2 мм до 10 мм), в асоціації з гідрослюдами, глинистими мінералами, хлоритом, карбонатом, альбітом, калішпатом, новоствореним кварцом тощо. Аналогічні уранові мінерали (настуран, ураніт, кофініт) виповнюють і густу вкрапленість навколо цих прожилків. Ізотопний вік зруденіння сягає 0,8–1,0 млрд років.

3. Найбільш пізньою є гіпергенна прожилково-тріщинна уранова чернева мінералізація, сформована впродовж фанерозою. Цей тип мінералізації створився за рахунок вилуговування урану з різних ендегенних проявів і перевідкладень його в зонах відкритої тріщинуватості. Цьому екзогенному зруденінню, представленому вторинними кофініт-ураново-черневими накопиченнями, в загальному балансі руд Михайлівського родовища належить істотна роль. За ізотопно-спектральним визначенням вік уранової черні сягає 0,2–0,4 млрд років, що відповідає герцинській та кімерійській епохам рудоутворення.

Планована діяльність передбачає ДПР уранових руд на ділянці Михайлівського родовища в Казанківському районі Миколаївської області способом ПСВ та їх переробку на місці. Реалізація планованої діяльності буде здійснюватись на базі виробничого комплексу, який складатиметься з двох промислових майданчиків – видобувного та переробного.

Під час розробки родовища способом ПСВ основним фактором впливу на навколишнє середовище, пов'язаним з технологічними особливостями планованої діяльності, є порушення природного режиму та хімічного стану підземних вод, яке відбувається шляхом формування ореолу забруднення водоносного горизонту, приуроченого до продуктивної товщі порід на ділянці видобувного комплексу.

Вплив на атмосферне повітря очікується внаслідок проведення земляних робіт, від викидів будівельної і бурової техніки, автотранспорту та монтажних робіт під час будівництва та від джерел викидів переробного комплексу під час експлуатації; вплив на геологічне середовище від закислення порід продуктивного шару, буріння технологічних і спостережних свердловин; вплив на ґрунти та рельєф від планування території у період будівництва; вплив на водне середовище від скиду очищених дощових стоків та від технологічного втручання в продуктивний водоносний горизонт; збільшення рівня шумового навантаження можливе від роботи автотранспорту та технологічного обладнання.

З метою недопущення погіршення соціально-економічного стану району планованої діяльності в процесі експлуатації видобувного та переробного комплексів будуть використовуватись найбільш екологічно прийнятні технології і методи організації виробництва.

Висновки. Планована діяльність передбачає ДПР уранових руд та їхню переробку на місці. Реалізація планованої діяльності буде здійснюватись на базі виробничого комплексу, який складатиметься з двох промислових майданчиків – видобувного та переробного.

На основі проведених упродовж 2015–2022 рр. комплексних польових і камеральних радіоекологічних досліджень на кількох екзогенних інфільтраційних родовищах урану осадового чохла та Михайлівському полігенному родовищі УЩ виконано комплексну оцінку впливу радіологічної ситуації на довкілля досліджуваної території, оцінку можливостей застосування способу підземного свердловинного вилуговування для їх експлуатації, розроблено пропозиції зі створення системи екологічного менеджменту підприємства та екологічного моніторингу планованої діяльності, а також запропоновано комплекс відновлювальних заходів для ремедіації гідрогеологічних горизонтів після відпрацювання продуктивних покладів.

До відновлювальних заходів належать:

- знімання, збереження та повторне використання родючого ґрунту;
- відновлення надр після відпрацювання родовища;
- демонтаж обладнання, планування порушеного рельєфу, засипка каналів, траншей, томпонування свердловин;
- рекультивация земель і їх повернення до господарського використання за цільовим призначенням.

Основний висновок проведених досліджень полягає в тому, що розробка невеликих уранових родовищ за допомогою сучасних технологій ПСВ потенційно може

суттєво поліпшити вітчизняну сировинну базу і є економічно рентабельною та екологічно виправданою.

Основним напрямом подальших досліджень, на нашу думку, слід вважати проведення експериментальних лабораторних і натурних випробувань щодо ефективності вилуговування урану різними реагентами, зокрема карбоною кислотою, розчинами, насиченими стислим киснем (повітрям) тощо, а також проведення дослідного буріння свердловинами з різним кутом нахилу до ліній залягання геологічних шарів з метою вибору оптимального способу їх улаштування. Значені дослідження повинні супроводжуватись екологічною оцінкою наслідків реалізації їх результатів.

Список використаних джерел

- Верховцев, В.Г., Сушук, К.Г., Фомін, Ю.О., Тищенко, Ю.С., Семенов, М.П., Деміхов, Ю.М., Колябіна, І.Л., Вайло, О.В., Михальченко, І.І. (2019). Металогенія урановорудних районів в осадовому чохла Українського щита. Київ: Наукова думка.
- Лавірова, Р.Л. (Ред.) (1998). Подземное выщелачивание полиэлементных руд. Москва: Изд-во Академии горных наук.
- Макаренко, М.М., Шумлянський, В.О., Суботін, А.Г. (2005). Геологічні умови видобування урану способом підземного вилуговування та природне очищення забруднених підземних вод після його закінчення на Девладівському родовищі. *Наук. праці Інституту фундаментальних досліджень*, 9, 172–181.
- Мамілов, В.А. і др. (1980). Добыча урана методом подземного выщелачивания. Москва: Атомиздат.
- Олейник, О.А., Попов, Н.И., Туктарова, А.Б. і др. (1982). Результаты исследования геологических условий Михайловского месторождения для оценки возможности отработки его способом ПВ, по состоянию на 1.01.1982 г. Кн. 1. Киев.
- Подземное и кучное выщелачивание урана, золота и других металлов. (2005). Уран. Т. 1. Москва: Руды и металлы.
- Сушук, К.Г., Верховцев, В.Г. (2018). Підземне вилуговування урану – переваги та ризики для довкілля. *Зб. наук. праць ІГНС НАН України*, 28, 67–76.
- Сушук, К.Г., Верховцев, В.Г. (2019). Металогенія урану в фанерозої платформної частини України. *Геохімія техногенезу. Зб. наук. праць ІГНС НАН України*, 2 (30), 56–69. <https://doi.org/10.15407/geotech2019.30.056>
- Тураєв, Н.С., Жерин, І.І. (2005). Химия и технология урана. Москва: ЦНИИАТОМИНФОРМ.
- Шумлянський, В., Макаренко, М., Синчук, В. та ін. (2007). Моніторинг природного середовища після добування урану способом підземного вилуговування. Київ: ЛОГОС.

References

- Verkhovtsev, V.G., Sushchuk, K.G., Fomin, Yu.O., Tyshchenko, Yu.Ie., Semeniuk, M.P., Demikhov, Yu.M., Koliabina, I.L., Vailo, O.V., Mykhalchenko, I.I. (2019). Metaloheniia uranovorudnykh raioniv v osadovomu chokhli Ukrainiskoho shchitya. Kyiv: Naukova dumka. [in Ukrainian]
- Lavayrova, R.L. (Ed.) (1998). Podzemnoe vysshelachivanie polielementnykh rud. Moskva: Izd-vo Akademii gornykh nauk. [in Russian]
- Mamilov, V.A. et al. (1980). Dobyicha urana metodom podzemnogo vysshelachivaniya. Moskva: Atomizdat. [in Russian]
- Makarenko, M.M., Shumlianskiy, V.O., Subotin, A.H. (2005). Heolohichni umovy vydobuvannia uranu sposobom pidzemnoho vyluhovuvannia ta pryrodne ochyshchennia zabrudnenykh pidzemnykh vod pislia yoho zakinchennia na Devladivskomu rodovyshchi. *Nauk. pratsi Instytutu fundamentalnykh doslidzhen*, 9, 172–181. [in Ukrainian]
- Oleynik, O.A., Popov, N.I., Tuktarova, A.B. et al. (1982). Rezultaty issledovaniya geologicheskikh usloviy Mihaylovskogo mestorozhdeniya dlya otsenki vozmozhnosti otrabotki ego sposobom PV, po sostoyaniyu na 1.01.1982 g. Book 1. Kiev. [in Russian]
- Podzemnoe i kuchnoe vysshelachivanie urana, zolota i drugih metallov. (2005). Uran. V. 1. Moskva: Rudy i metalli. [in Russian]
- Sushchuk, K.G., Verkhovtsev, V.G. (2018). Pidzemne vyluhovuvannia uranu – perevahy ta ryzyky dlia dovkillia. *Zb. nauk. prats IHNS NAN Ukrainy*, 28, 67–76. [in Ukrainian]
- Sushchuk, K.G., Verkhovtsev, V.G. (2019). Metaloheniia uranu v fanoerozoї platformnoi chastyi Ukrainy. *Heokhimiia tekhnogenezu. Zb. nauk. prats IHNS NAN Ukrainy*, 2 (30), 56–69. <https://doi.org/10.15407/geotech2019.30.056> [in Ukrainian]
- Turaev, N.S., Zherin, I.I. (2005). Himiya i tehnologiya urana: Uchebnoe posobie dlya vuzov. Moskva: TsNIATOMINFORM. [in Russian]
- Shumlianskiy, V., Makarenko, M., Synchuk, K et al. (2007). Monitoryng pryrodnoho sere dovnyshcha pislia dobuвання uranu sposobom pidzemnoho vyluhovuvannia. Kyiv: LOHOS. [in Ukrainian]

Надійшло до редколегії 19.11.22

V. Verkhovtsev, Dr. Sci. (Geol.), Senior Researcher
e-mail: verkhovtsev@ukr.net

K. Sushchuk, PhD (Geol.-Min.), Senior Researcher
e-mail: IGNS_Sushchuk@nas.gov.ua

Yu. Tyshchenko, PhD (Geol.), Senior Researcher
e-mail: u-risk@ukr.net

S. Meshcheriakov, Leading Engineer
e-mail: IGNS_Meshcheriakov@nas.gov.ua
SI "Institute of Environmental Geochemistry of the NAS of Ukraine",
34a Ak. Palladina Ave., Kyiv, 03142, Ukraine

I. Koliabina, PhD (Geol.), Senior Researcher
e-mail: IGNS_Koliabina@nas.gov.ua
Institute of Geological Sciences,
55b O. Honchar Str., Kyiv, 01054, Ukraine

CONTROL OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF URANIUM UNDERGROUND WELL MINING (ON THE EXAMPLE OF MYKHAILIVKA POLYGENIC DEPOSIT OF THE UKRAINIAN SHIELD)

Nuclear energy is an important component of Ukraine's national security. Providing this industry with its own raw materials is one of the priority, long-term tasks of the state. One of the ways to successfully solve this task is to create a favorable investment climate for the involvement of private business entities in the development of the domestic mining industry.

In Ukraine, numerous uranium deposits have been explored, which are characterized by relatively small reserves, which is why until recently they were not considered promising for development by the state mining company Eastern Mining and Processing Plant (Zhovti Vody). These deposits are not profitable for development by traditional methods – mining or quarrying, but they can be worked out by the method of underground well leaching. In addition to lower capital costs, this method is also characterized by the fact that it is accompanied by a lower environmental load.

The article highlights some aspects of the generalized results of the impact on the environment of the new activity analysis, which involves the creation of a private enterprise for research and industrial development and subsequent extraction of uranium at the Mykhailivka deposit in the Kazankivskyi district of the Mykolaiv region, which relate to the choice of technology evaluation for the extraction of minerals by the method of underground well leaching. The projected enterprise will consist of several temporary mining sites and a stationary industrial site of the processing complex, as well as engineering and transport infrastructure facilities. After working out the deposit, land reclamation and their return to land users and subsoil rehabilitation will be carried out, which will ensure their restoration to the pre-project state.

On the territory that may be affected by the construction and operation of the planned enterprise, full-scale field and laboratory geo-ecological investigations were conducted and their results were described.

Keywords: uranium, Mykhailivka deposit, underground well leaching, subsoil, impact, environment, technological solutions, crystalline rocks, sedimentary rocks, aquifers.