DOI https://doi.org/10.32782/geotech2022.35.18
УДК 553.495(477)

Вайло О.В., Ноженко О.В., Ярощук Д.А.

Вайло О.В., кандидат геолого-мінералогічних наук, старший науковий співробітник, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», ORCID 0000-0001-9540-2448, alexv54@ukr.net
Ноженко О.В., молодший науковий співробітник, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», ORCID 0000-0002-0922-9042, noolvo@ukr.net
Ярощук Д.А., інженер, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», ORCID 0000-0003-0190-8611, mitya.yaroshchuk@gmail.com

ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ТА ПРИРОДООХОРОННІ ЗАХОДИ СМОЛІНСЬКОЇ ШАХТИ ВАТУТИНСЬКОГО РОДОВИЩА УРАНОВИХ РУД

Анотація. *Актуальність дослідження обумовлена необхідністю розширення сировинної бази ядерної енергетики України та визначення впливу урановидобувних підприємств на навколишнє природне середовище. Проаналізовано екологічну обстановку в санітарно-захисній зоні і околицях Смолінської шахти, що видобуває уранові руди Ватутинського родовища. Проведено оцінювання і вивчення факторів та джерел впливу діяльності шахти на повітря, ґрунт, водне середовище, донні відклади, рослинність на основі даних інструментальної радіометричної зйомки і аналітичних лабораторних досліджень вмісту шкідливих речовин; карт розподілу потужності дози гамма-випромінювання на висоті 1 м від поверхні і в поверхневому шарі ґрунту, потужності еквівалентної дози, сумарної питомої активності гамма-випромінювальних радіонуклідів у ґрунті, активності ^{238}U та ^{210}Pb (за результатами бета-спектрометрії), за результатами гамма-спектрометрії: суми всіх гамма-випромінювальних радіонуклідів, радіонуклідів уранового ряду, торієвого ряду, а також вмісту мікроелементів у ґрунтах. Наведено аналіз дослідження шахтних відходів, їх породний і мінеральний склад, геохімічні властивості. Показано, що в процесі взаємодії відходів із довкіллям відбувається еволюція їхнього складу, яка, з одного боку, веде до вилуговування шкідливих компонентів відвалів і їх винесення в довкілля, а з іншого – до перерозподілу і накопичення низки елементів, які можна розглядати як можливі вторинні ореоли накопичення урану та інших елементів у ділянках з відновними умовами. Розглянуті можливі природоохоронні заходи з ліквідації шкідливого впливу на екологічну обстановку навколишнього середовища Смолінской шахти.*

Ключові слова: *шахта, радіометрічна зйомка, радон, ґрунт, еволюція складу відвалів, вторинні ореоли, охоронні заходи, екологічна обстановка.*

Вступ. Смолінська шахта є однією з трьох діючих шахт (інші – Інгульська і Новокостянтинівська) ДП «СхідГЗК», якою здійснюється видобування уранової руди натрій-уранової формації на Ватутинському родовищі (Кіровоградська обл.). Видобуток урану тут, як на будь-якій урановидобувній шахті, так чи інакше супроводжується забрудненням повітряного и водного середовища: 1) радіоізотопами трьох радіоактивних сімейств ^{238}U, ^{235}U, ^{232}U, але в основному – сімейства ^{238}U; 2) механічними втратами речовин, що містять уран, дифузійним забрудненням ґрунту, радіоактивним пилом і аерозолями, що утворюються в результаті експлуатації рудних складів, відвалів, автомобільних і залізничних доріг та осаджуються на поверхні; 3) експлуатацією підземного і наземного шахтних комплексів і шахтного водовідливу, що призводить до порушення гідрогеологічного, гідрохімічного і гідродинамічного режимів поверхневих і підземних вод; 4) радіонуклідами, які вилуговуються із забалансових руд і порожньої породи у відвалах під впливом атмосферних опадів [16].

Ці фактори впливу уранового виробництва на навколишнє середовище шахти і прилеглих територій потребують періодичного контролю, оцінювання, аналізу і, за потреби, – зменшення впливу. Їх вивчення на території і околицях Смолінської шахти було виконано співробітниками ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», зокрема й авторами цієї статті, в 2015–2018 рр. шляхом виконання радіометричної зйомки і виявлення джерел забруднення повітря, ґрунту, водного середовища, донних відкладів, рослинності. Через обмежений обсяг статті тут представлено загальний огляд результатів з посиланням на монографію [9], де вони розглянуті докладніше і повніше.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій. Нарощування видобутку уранових руд в Україні пов’язано з необхідністю ведення об’єктного моніторингу на територіях, прилеглих до діючих шахт, які є чинником ризику погіршення радіо- та геоекологічної ситуації навколо. Результати різних досліджень Смолінської та інших шахт, їх узагальнення викладено у низці

звітів, монографій, рекомендацій, які ми вивчили. Із них можна виділити праці: [13], в якій йдеться про екологію навколишнього середовища і безпеку життєдіяльності населення в промисловому регіоні; [1], де розглянуто проблеми видобутку уранових руд взагалі; [3, 7], присвячені екологічній безпеці уранового виробництва; в [5] викладено рекомендації стосовно підвищення рівня екологічної безпеки в зоні впливу уранових шахт; робота [8] присвячена радіаційному моніторингу об'єктів уранової промисловості; [4] – основним факторам впливу на навколишнє середовище Смолінської шахти.

Актуальність обумовлена необхідністю: розвитку уранової сировинної бази ядерної енергетики України та визначення впливу урановидобувних підприємств на навколишнє природне середовище і населення; підвищення екологічної безпеки на основі оцінки ступеня цього впливу; розробки рекомендацій, спрямованих на зменшення дії радіаційних та інших факторів забруднення. Ватутінське родовище уранових руд є одним із джерел поповнення запасів урану України.

Мета досліджень. Визначення факторів впливу на навколишнє середовище видобування уранової руди Смолінською шахтою, організація природоохоронних заходів.

Методи досліджень. Екологічні дослідження виконано в двох напрямках: 1) інструментальна радіометрична зйомка забруднення території шахти, під час якої досліджено потужність експозиційної дози гамма-випромінювання середовища: на висоті 1 м від поверхні ґрунту (радіаційний фон); на поверхні ґрунту; у ґрунтовому шарі у шпурі інтегрально на глибині 0–1 м; потужність еквівалентної дози; альфа-випромінювання радону-222 (щільності потоку радону); 2) аналітичні лабораторні дослідження вмісту шкідливих речовин: вимірювання сумарної об'ємної гамма-активності; гамма-спектрометричні вимірювання; альфа-, бета-радіометрія; бета-спектрометрія зразків ґрунту; визначення вмісту мікроелементів.

Проби природних вод, донних відкладів і зразки наземної та водної рослинності досліджено методом бета-спектрометрії. Крім того, виконано хімічний аналіз проб води на вміст головних іонів та розчиненого кисню, значення pH, електропровідності, мінералізації.

Дослідження здійснено на основі наукових робіт Інституту геохімії навколишнього середовища НАН України, фондових матеріалів КП «Кіровгеологія», Смолінської шахти та опублікованої літератури.

Екологічні фактори Смолінської шахти. Ватутінське родовище знаходиться в західній частині Інгулецького блоку Українського щита та приурочене до Звенігородсько-Ганнівської зони розломів; відкрито у 1970 р., детальна розвідка завершена у 1972 р. Родовище знаходиться в 2,5 км на південний захід від смт Смоліне Маловисківського району Кіровоградської області і експлуатується Смолінським гірничовидобувним підприємством ДП «Схід ГЗК».

Шахту Смолінська споруджено 1976 р. на південному фланзі родовища, яке розкрито до горизонту 460 м основними стволами «Головний» і «Допоміжний», призначеними для видачі гірської маси, спуску-підйому людей, матеріалів, обладнання для вентиляції, відкачування підземних вод на поверхню; на північному фланзі родовище розкрито до горизонту 280 м стволом шахти «Вентиляційна» [8, 12]. На рисунку показано на тлі головного копра різні технологічні майданчики Смолінської шахти.

Забруднення повітряного середовища. Згідно з результатами дослідження, діяльність Смолінської шахти сприяє забрудненню атмосфери. Основними забруднювальними речовинами, що викидає шахта в атмосферне повітря, є NO_2, CO, SO_2, пил неорганічний, в якому містяться радіонукліди природного походження.

Забруднення водного середовища. Виробничий комплекс Смолінської шахти є основним джерелом техногенного впливу на підземні та поверхневі води прилеглої території. Основним фактором техногенного впливу на поверхневі води є скид після очищення шахтних вод в р. Кільтен по б. Курникова. Скид здійснюється відповідно до затверджених гранично допустимих скидів. Річний ліміт скиду складає 3334 тис. $м^3$. Унаслідок скиду відбувається певне підвищення у поверхневих водах вмісту хімічних та радіоактивних компонентів.

Радіаційні фактори. Відпрацювання запасів Ватутінського родовища обумовлює незначне підвищення



a b c

Fig. A general view of the territory of the Smolin mine with a perspective of the main pit: *a* – site with mine rock dumps, which are separated with the help of the «Altait» complex; *b* – a superstructure above the main pit from which the ore rocks lifted from the mine are delivered by conveyor to the unit for separation; *c* – installation for cleaning mine waters

природної активності ґрунтів як на проммайданчику, так і в місцях впливу санітарно-захисної зони Смолінської шахти внаслідок викидів в атмосферне повітря радіоактивного рудного пилу і його осадження на поверхню.

Крім цього, для шахти характерне утворення відходів у вигляді відвалів шахтних порід. У відвалах зосереджені: навколорудні метасоматити (різною мірою альбітизовані гнейси і граніти), сієніти, діафторити, тектоніти, забалансові руди. Відходи по-різному зруденілі, містять радіоактивні мінерали, шкідливі і корисні домішки (торій, берилій, свинець, титан, нікель, молібден, цирконій, барій, стронцій, цинк, вісмут, рідкісноземельні елементи); акцесорні мінерали – сфен, апатит, циркон, монацит.

Станом на 01.10.2010 на території шахти було заскладовано 3737,1 тис. т порожньої і забалансової гірської породи. На сьогодні шахта переробила заскладовані породи на радіометричному сепараторному комплексі «Алтаіт» з отриманням товарного уранового концентрату, кварцитового буту (щебеню) і малоактивної породи, що використовується у будівництві.

Проммайданчик шахти за ступенем потенційної небезпеки для населення належить до I категорії шкідливих підприємств. Для підприємств даної категорії повинна бути визначена санітарно-захисна зона. Відповідно до «Проєкту санітарно-захисної зони і зони спостереження (ССЗ)» [11] розрахунковий розмір СЗЗ становить 1100 м (з коефіцієнтом запасу 10 %).

Установлено, що радіоекологічна ситуація досліджуваної території в цілому не викликає занепокоєння. Проте геологічні, гідрогеологічні та інші параметри створюють передумови того, що за певного збігу обставин можуть відбуватись негативні екологічні та радіоекологічні впливи різної інтенсивності.

За результатами *польових* інструментальних радіаційних вимірювань в 32 точках спостереження гамафону в повітрі і в свердловинах, щільності потоку радону, потужності еквівалентної дози в повітрі і свердловинах побудовано 14 карт розподілу потужності дози гамма-випромінювання на висоті 1 м від поверхні та в поверхневому шарі ґрунту, потужності еквівалентної дози, сумарної питомої активності гамма-випромінювальних радіонуклідів у ґрунті. А за результатами *лабораторних* спектрометричних досліджень 25 проб отримано значення активності ^{238}U та ^{210}Pb (за результатами бета-спектрометрії), гамма-спектрометрії: суми всіх гама-випромінювальних радіонуклідів, радіонуклідів уранового і торієвого рядів, а також вмісту мікроелементів у ґрунтах. Побудовано відповідні карти.

Загалом результати польових комплексних вимірювань демонструють стабільний рівень радіоактивності середовища. Значні підвищення радіаційного фону фіксуються на території шахти, особливо – в південній частині, та на території, відведеній під будівництво збагачувального заводу. «Зміщення» радіоактивності у південному напрямі, очевидно, пов'язане з поверхневим стоком зливових і талих вод, який відбувається відповідно до ухилу рельєфу поверхні. Високі показники щільності потоку радону зафіксовані в північній і центральній частинах території шахти, а в 2016 р. – в її південній частині. На фоні решти території досліджень високі показники еманації радону пов'язані з заляганням рудного тіла [9].

Більшою потужністю альфа-випромінювання вирізняються ґрунти північної частини досліджуваної території у межах балки Курнікова та території південніше шахти. Натомість бета-випромінювання зростає в ґрунтах південно-західної частини території шахти. Гамма-випромінювання ґрунтів характеризується високими показниками території південної частини шахти та земель, відведених для будівництва заводу, що співпадає з результатами польових вимірювань.

Еволюція складу відходів. Дослідження свідчать, що еволюція промислових відходів – це результат тривалої взаємодії речовинного складу їх вмісту і чинників, які перетворюють ці відходи в відвалах.

У процесі взаємодії відходів з довкіллям відбувається еволюція їхнього складу, яка, з одного боку, веде до вилуговування шкідливих компонентів у межах відвалів і їх винесення в довкілля, а з іншого – до перерозподілу і накопичення елементів, які можна розглядати як можливі вторинні ореоли накопичення урану та інших елементів у ділянках з відновними умовами. Еволюція залежить від довготривалої взаємодії внутрішніх і зовнішніх чинників [14].

До зовнішніх чинників системи належать: тривалість зберігання відвалів, міра ущільненості, параметри і форма відвалів і міра їх розкритості; положення в рельєфі; рекультивація відходів; гідрохімічний режим – інтенсивність водообміну і тривалість промивання промислових продуктів, глибина дзеркала ґрунтових вод; особливості клімату і його сезонних коливань. Еволюція промислових відходів це результат тривалої взаємодії внутрішніх та зовнішніх чинників.

Внутрішні чинники системи (речовинний склад промислових відходів) визначені такими типоморфними особливостями: фізико-механічними властивостями, кускуватістю (розміром уламків, їх питомою поверхнею, наявністю маси, що диспергує, її сорбційної здатності); ущільненістю і водопроникністю залежно від часу зберігання; текстурно-структурними і геохімічними особливостями і мінеральним складом мас конкретних різновидів порід і руд, зосереджених у відвалах, розчинністю мінералів. Впливає на розчинність рудних мінералів присутність карбонатів, сульфідів, органічних речовин, що визначає загалом Eh та Ph відвалів.

Руйнування мінералів урану і переходу його в розчин залежатиме від мінерального складу, розміру і форми виділень, присутності у вигляді ізоморфної домішки, або у вигляді сорбції і дисперсних включень у породоутворювальних мінералах [15].

У ділянках відновних умов (наприклад, у разі рекультивації відвалів) вміст перевідкладеного урану

(можливо, у формі нингиоіту, кофініту) зростає на 20–30 %. Розчинність мінералів урану відповідає такій послідовності (від кращої до гіршої): сорбційні форми – гідроксиди – гідросилікати – титанати урану. Окиснення кристалічного уранініту веде до заміщення його метаміктним настураном, а потім урановою черню. Оксиди урану у відвалах будуть гідратовані з утворенням гуміту, залежно від складу аніонів (Ca, Na, K, Mg) можуть утворитись лужні і лужноземельні гідрооксиди і силікати уранілу, а залежно від складу домішок – (Cu, V, P, Mo) – фосфати, молібдати, ванадати тощо. Мінерали торію та акцесорні урановмісні мінерали стійкіші до вивітрювання.

Спочатку вилуговуватиметься уран плівковий, глобулярний із приповерхневих зон відвалів. Вилуговування (руйнування) уранових мінералів природно веде до зменшення його вмісту у відвалах і відповідно до відносного накопичення ряду корисних елементів (селен, ванадій, скандій і ін.), які, можливо, вилучатимуться після вдосконалення технологій збагачення.

Неоднорідність фізико-механічних, хімічних, мінералогічних властивостей промислових продуктів обумовлює виникнення у відвалах різних нестабільних станів, мезо -, макро -, мікротехногенних бар'єрів.

У відвалах може виникати зональність із утворенням у верхніх їх частинах уранових слюдок і гуміту. Велике значення для еволюції складу промислових продуктів у відвалах має газова складова (O_2, CO_2, H_2, сірководень, вуглеводні).

Вторинні ореоли накопичення урану і супутніх елементів. Міграція урану з відвалів відбувається в гідрокарбонатних, гідрокарбонатно-сульфатних, рідше карбонатно-хлоридних водах в окиснювальних умовах. Шестивалентний уран мігрує в іонній, комплексній, та колоїдній формах. У нейтральних і слабко лужних водах міграція урану та супутніх металів не відбувається. Уран рухливіший за радій, тому мігрує на більші відстані від відвалів.

Міграція урану в підземних та поверхневих водах триває до зміни окиснювальних умов на відновні, які виникають унаслідок природних фізико-хімічних бар'єрів. Бар'єрами накопичення вторинних техногенних відходів можуть слугувати скупчення вуглеводнів, халькофілів, захороненої деревини, слюдяних ділянок та гідроксидів заліза.

На геохімічних мікробар'єрах з уранвмісних вод у відвалах можуть утворитись сульфати уранілу – на випарному, фосфати і арсенати уранілу – на лужному; уранова чернь – на сірчановодневому і глеєвому. Залежно від поєднання Eh, pH бар'єрів можлива асоціація уранової черні з різними елементами. Зокрема, за надходження уранвмісних кисневих вод до сульфідного бар'єру можлива асоціація уранової черні з халькофилами; у разі потрапляння уранвмісних безсульфідних вод до глеєвого бар'єру – уранової черні з гідрооксидами заліза і марганцю; а нейтральних і слабколужних уранвмісних кисневих вод до відновного бар'єру – кофініту і черні з селеном і молібденітом [2].

У ділянках повного вилуговування урану можливе накопичення резистентних силикат-титанатів урану, рідкісноземельних, цирконвмісних мінералів. У результаті вказаних мінеральних перетворень у відвалах може виникати зональність із утворенням у верхніх їх частинах уранових слюдок, гуміту.

Крім радіоактивних елементів із відвалів вимивається цілий ряд поліметалів, розсіювання чи концентрація яких у навколишньому середовищі залежить від рухливості металів у воді та типу ґрунтів.

Реалізація природоохоронних заходів. Захист навколишнього середовища від впливу токсичних елементів (урану, миш'яку, свинцю, ванадію, селену) потребує реалізації певних природоохоронних заходів:
1. Скорочення маси відходів за рахунок удосконалення картування рудної зони на основі детальнішого визначення зони багатого зруденіння. Засипка матеріалів відвалів у відпрацьовані порожнини шахти та радіометричне сортування відходів на сепараторному комплексі (Алтаіт). Вторинна переробка відвалів з вилученням залишків урану з рудовмісних порід та рядових руд є доцільною для вилучення корисних елементів (торію, рідкісноземельних, титану). Вміст урану в непромислових рудах українських родовищ складає від $2{\cdot}10^{-3}$ до $2{,}93{\cdot}10^{-2}$ % (в середньому $1{,}33{\cdot}10^{-2}$ %), в промислових рудах – від $3{,}25{\cdot}10^{-2}$ до 1,11 % (в середньому $1{,}48{\cdot}10^{-1}$ %). Таким чином, середній вміст урану у відходах хвостосховищ знаходиться на нижній межі його вмісту у промислових рудах. Тобто за кількісними показниками хвостосховища є потенційно цікавими джерелами отримання урану.

2. Рекомендації щодо можливих умов зберігання відходів. Використання найоптимальніших умов зберігання залежно від форми рельефу (балки, яври, траншеї), рівня поверхневих і ґрунтових вод, напрямку їхнього стоку та залежно від неотектонічних факторів.

3. Визначення методів рекультивації відходів: їх засипкою ґрунтовим, асфальтовим або фосфогіпсовим перекриттям. Мінімальні значення радіоактивного випромінювання зафіксовані для хвостосховища, більша частина поверхні якого перекрита фосфогіпсом, максимальні – для хвостосховищ з ґрунтовим або асфальтовим перекриттям (в зоні, перекритій асфальтом, вимірювання не виконано). Видається очевидним факт, що фосфогіпс підвищує безпечність зберігання відходів у хвостосховищах, проте, оскільки він є досить розчинною речовиною, то склад атмосферних вод, що фільтруються крізь нього на шляху до відходів, може суттєво змінюватись, зокрема вони можуть збагачуватися кальцієм та сульфат-іоном.

Отже, відвали, розміщені на поверхні землі, стають джерелами довготривалого радіоактивного і хімічного забруднення основних компонентів довкілля: поверхневих і підземних вод унаслідок вимивання з відвалів атмосферними опадами і поверхневими потоками токсичних і радіоактивних елементів; атмосфери – за рахунок виділення (еманації) радону, який шляхом дифузії та конвекції переноситься на великі відстані (понад

4–5 км), і радіоактивного пилу, що утворюється в результаті фізико-хімічного вивітрювання і вітрової ерозії приповерхневого шару рекультивованих відвалів.

Висновки. 1. Польові дозиметричні вимірювання показали, що на Ватутінському урановому родовищі просторовий розподіл показників потужності експозиційної дози гамма-випромінювання середовища і потужності еквівалентної дози характеризується локалізацією аномально високих показників на ділянках, розташованих на території Смолінської шахти, що пов'язано з наслідками видобувних робіт. На території Смолінської шахти зафіксовані рівні перевищення потужності експозиційної та еквівалентної дози над фоновими показниками прилеглої території, які досягають 8–10 разів.

У повітрі Ватутінського родовища зафіксовані перевищення доз над фоновими у 25–30 разів. Суттєве зниження гамма-радіоактивності середовища на території Смолінської шахти найвірогідніше досягнуто за рахунок оптимальної переробки накопичених відвалів уранвмісної породи. Наявні рівні дозового навантаження персоналу на об'єкті все ще залишаються близькими до граничних показників радіаційного впливу виробничого середовища за НРБУ-97 – 5 мЗв/рік (для населення – 1 мЗв/рік) [10], що вимагає посилення заходів з радіаційного контролю та захисту, включаючи часткову дезактивацію забрудненої території.

Значні підвищення радіаційного фону фіксуються на території Смолінської шахти, особливо в південній частині, та на території, відведеній під будівництво збагачувального заводу. «Зміщення» радіоактивності у південному напрямі пов'язано з поверхневим стоком зливових і талих вод, який відбувається відповідно до ухилу рельєфу поверхні.

Високі показники щільності потоку радону зафіксовані в північній і центральній частинах території шахти, а в 2016 р. – в її південній частині. На фоні решти території досліджень високі показники еманації радону пов'язані з заляганням рудного тіла. Прилегла до шахти територія за радіоекологічними параметрами є безпечною.

2. Лабораторні дослідження охоплювали комплекс вимірювань альфа-, бета- та гамма-активності відібраних зразків проб ґрунту. Більшою потужністю альфа-випромінювання відрізняються ґрунти північної частини досліджуваної території у межах балки Курнікова та території на південь від шахти. Натомість бета-випромінювання зростає в ґрунтах південно-західної частини території шахти. Гамма-випромінювання ґрунтів характеризується високими показниками території південної частини шахти та земель, відведених для будівництва заводу. Слід відмітити вкрай низьку радіоактивність проб ґрунту, яка практично не перевищує глобальні показники (58 % за торієм і 63 % за ураном). Локальні флуктуації активності пов'язані, швидше за все, з переміщенням частини водорозчинних мобільних форм зі стоками в понижені форми рельєфу.

3. Виходячи з радіаційно-екологічного стану території Смолінської шахти проаналізовані необхідні та можливі природоохоронні заходи: скорочення маси відходів, оптимальні умови їх захоронення та рекультивації прилеглих земель.

References

1. Avdeev, O.K., Mosinets, V.N. (1988), *Ecological problems of radioactive ores mining*. Moscow: Nauka.

2. Batulin,. S.G., Hrushevo,i G.V., Zelenova, O.I. (1980), *Hydrogen deposits of uranium*. Moscow: Atomizdat.

3. Dvoretsky, A.I., Baydak, L.A., Lyashenko, V.Y., Topolny, F.F. (2018), Environmental safety in the zone of influence of uranium production*, Metallurgical and ore industry,* 6: 75-86.

4. Grushko, V.V. (2006), Main environmental impacts of the Smolinskaya mine of VostGOK, *Collection «Geography, ecology – the first report of scientific achievements, materials of the international scientific conference of students and graduate students:* 45-51.

5. Lyashenko, V.I. (2015), Improving environmental safety in the zone of influence of uranium production, *Proceedings of universities. Geology and exploration,* 1: 43-52.

6. Lyashenko, V.I. (2015), Radiation monitoring of uranium industry facilities in Ukraine. *Proceedings of universities. Geology and exploration.* 6: 74-83.

7. Lyashenko, V.I., Topolny, F.P., Mostipan, M.I., Lisova, T.S. (2011), *Environmental safety of uranium production*. Kirovohrad: KOD.

8. Lysychenko, G.V., Melnyk, Yu.P., Lysenko, O.Yu. (2010), *Uranium ores of Ukraine.* Kyiv: Naukova dumka.

9. Verkhovtsev, V.G. (Ed.), (2019), *Metallogeny of uranium-bearing areas in the sedimentary cover of the Ukrainian Shield*. Kyiv: Naukova dumka.

10. Norms of radiation safety of Ukraine NRBU-97. Sovereign hygiene standards. (DGN 6.6.1.-6.5.001-98). Approved by the decision of the Head Sovereign Medical Doctor of Ukraine dated December 01, 1997, No. 62.

11. Project «PJSC «Plant YAT» Plant for the production of nuclear fuel». «Sanitary protection zone and surveillance zone». Volume 9, SE «UkrNIIEP», Kharkiv, 2013.

12. Lysychenko, G.V., Verkhovtseva, V.G. (Eds), (2014), *Prospects for the development of the uranium raw material base of the nuclear energy industry of Ukraine.* Kyiv: Naukova dumka.

13. Stus, V..I,. Stus V. P., Lyashenko, V.I. (2011), Ecology of the environment and safety of life of the population in the industrial region, *Ecology and industry.* 2: 23-31.

14. Yaroshchuk, M.A., Vaylo, A.V. (2009), Evolution of the material composition of uranium mining industry waste under the influence of environmental factors, *Ecological geology: scientific, practical, medical, economic and legal aspects, Conference materials:* 231-235.

15. Yaroshchuk, M.A., Vaylo, A.V. (2011), Technogenic concentration of thorium and rare earths in waste products of the uranium mining industry, *Ecological geology: theory, practice and regional problems, Conference materials:* 145-151.

16. Yaroschuk, M.A., Vailo, A.V. (2017), Uranium mining enterprises as objects of ecological danger, *Chemical and radiation safety: problems and solutions, Materials of the V international conference:* 71-74.

ECOLOGICAL SITUATION AND ENVIRONMENTAL MEASURES IN THE SMOLINE MINE OF THE VATUTINSKE URANIUM ORE DEPOSIT

O. Vailo, O. Nozhenko, D. Yaroshchuk

Vailo O.V., PhD (Geol.&Min.), Senior Researcher, State Institution «Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine», alexv54@ukr.net, orcid.org/0000-0001-9540-2448
Nozhenko O.V., Junior Researcher, State Institution «Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine», noolvo@ukr.net, orcid.org/0000-0002-0922-9042
Yaroshchuk D. A., Engineer, State Institution «Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine», mitya.yaroshchuk@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0190-8611

Abstract. *The urgency of the study is due to the need to expand the raw material base of the nuclear energy in Ukraine and determine the impact of uranium mining companies on the environment. The article analyzes the state of the ecological situation in the sanitary protection zone and in the vicinity of the Smoline mine, which produces uranium ores from the Vatutinske deposit. The assessment and study of factors and sources of influence of mining activity on air, soil, aquatic environment, bottom sediments and vegetation was carried out using data of instrumental radiometric survey and analytical laboratory researches of the content of harmful substances and constructed maps of gamma radiation dose rate distribution at a height of 1 m from the surface and in the soil surface layer, equivalent dose rate, total specific activity of gamma emitting radionuclides in soil,* ^{238}U *activity and* ^{210}Pb *(according to the results of beta spectrometry), the sum of all gamma-emitting radionuclides, uranium and thorium series radionuclides, as well as the content of microelements in soils (according to the results of gamma spectrometry). Study of mine waste its rock and mineral structure, and geochemical properties is analysed. It is shown that in the process of interaction of the waste with the environment, there is an evolution of the waste composition, which, on the one hand, leads to leaching of harmful components within the dumps and their transfer into the environment, and on the other hand, redistribution and accumulation of a number of elements that can be considered as possible secondary halos of accumulation of uranium and other elements in areas with regenerative conditions. Possible environmental measures to eliminate the harmful effects on the environment of the Smoline mine are considered.*

Key words: *mine, radiometric survey, radon, soil, evolution of dump composition, secondary halos, protective measures, ecological situation.*