

УДК 911.9:550.8

DOI: 10.31652/2786-5665-2024-6-25-40

Іванов Є. А.

доктор географічних наук, професор, завідувач кафедри конструктивної географії і картографії
Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна
yevhen.ivanov@lnu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0001-6847-872X>

Андрейчук Ю. М.

кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри конструктивної географії і картографії
Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна
yuriy.andreychuk@lnu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-4940-4319>

Пилипович О. В.

кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри конструктивної географії і картографії
Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна
olha.pylypovych@lnu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-7972-9202>

**ПОСТМАЙНІНГОВІ ЛАНДШАФТИ ЛЬВІВСЬКО-ВОЛИНСЬКОГО
КАМ'ЯНОВУГІЛЬНОГО БАСЕЙНУ, ЇХ ФОРМУВАННЯ І РОЗВИТОК**

Анотація. Розглянуто питання виникнення, формування і розвитку постмайнінгових ландшафтів у Львівсько-Волинському кам'яновугільному басейні. Закриття нерентабельних вугільних шахт прискорило появу на заміну вже сформованим гірничопромисловим ландшафтам нових геосистем природно-антропогенної генези на території промислових майданчиків та в межах шахтних полів. На прикладі двох модельних ділянок досліджено особливості функціонування постмайнінгових геосистем, які утворилися на літологічній основі вугільних відвалів та у зонах затоплення, підтоплення і вторинного заболочення природних місцевостей. Проведено геоінформаційне картографування і моделювання екологічного стану об'єктів дослідження у масштабі 1 : 2 000 – 1 : 5 000. Запропоновано оптимізаційні заходи щодо покращення екологічного стану постмайнінгових геосистем та раціонального використання природних ресурсів.

Ключові слова: ландшафт, постмайнінгова геосистема, функціонування, розвиток, відвал, затоплення, підтоплення.

Ivanov Yevhen, Andreychuk Yuriy, Pylypovych Olha. POST-MINING LANDSCAPES OF THE LVIV-VOLYN COAL BASIN, THEIR FORMATION AND DEVELOPMENT

Abstract. The question of the emergence, formation and development of post-mining landscapes in the Lviv-Volyn coal basin is considered. The closure of unprofitable coal mines hastened the emergence of new geosystems of natural and anthropogenic origin to replace already formed mining landscapes on the territory of industrial sites and within mine fields. On the example of two model sites, the peculiarities of the functioning of post-mining geosystems, which were formed on the lithological basis of coal dumps and in the zones of flooding, underflooding and secondary waterlogging of natural areas, were investigated.

Methods used: comparative-geographical, cartographic, geoinformation modeling, landscape-dynamic, landscape-geochemical, etc. Geoinformation mapping and modeling of the ecological state of the research objects on a scale of 1 : 2,000 – 1 : 5,000 were carried out. Digital models of the relief of the rock dump and morphometric models of the steepness and exposure of the slopes were constructed with the help of topobases. To decipher the boundaries of plant communities, space images obtained from the available Google Earth Pro program were used. Space photographs cover the period from 2009 to 2020.

The analysis of the content of chemical elements in the lithological deposits of the rock tericon of the Vizeyska mine was carried out using the emission spectral method for 27 chemical elements and the spectral semiquantitative method

for 10 chemical elements.

On the basis of landscape and ecological studies conducted within the limits of the Lviv-Volyn coal basin, the specifics of the functioning and development of various post-mining geosystems, which were formed within the bedrock areas of coal mines, were studied. It is important to analyze the level of anthropogenic transformation of the geosystems of coal mining areas, to assess the current state and the intensity of the subsidence of the earth's surface, its flooding and submergence. At the same time, the landscape bases for carrying out optimization works within the limits of various coal mining facilities are substantiated. Existing and proposed new approaches to improving the current ecological situation in the basin, reclamation and phytomelioration of coal fields and dumps, optimizing the use of inundation and submergence zones, establishing a system of effective monitoring of the state of the environment, etc. are considered.

Keywords: landscape, post-mining geosystem, functioning, development, waste dump, flooding, submergence.

Актуальність дослідження. Інтенсивне видобування і збагачення кам'яного вугілля у Львівсько-Волинському (Львівсько-Люблінському) басейні призводить до розвитку і прояву небезпечних ендегенних та екзогенних процесів, що спричинює трансформацію ландшафтів та незворотні зміни у навколишньому природному середовищі. Найвідчутніше на екологічний стан геосистем басейну впливають процеси, які зумовлені накопиченням гірничопромислових відходів у териконах і відвалах та розвитком просідання земної поверхні, що призводить до утворення зон затоплення, підтоплення і вторинного заболочення. В останні 20–25 років екологічна ситуація у басейні суттєво змінилася. Це головню пов'язано із зменшенням обсягів видобування вугілля та поступовим закриттям нерентабельних шахт. На сьогодні з 22 вугільних підприємств басейну шляхом мокрої консервації ліквідовано 15 шахт (68,2 % від загальної кількості), а ще дві шахти – підготовлено до закриття. Після ліквідації вугільних шахт, на їх території та в межах шахтних полів, розпочався процес формування і розвитку новостворених постмайнінгових геосистем, що змінюють попередні гірничопромислові ландшафти. Специфіка утворення цих геосистем залежить від природних умов їхнього розміщення та технології розроблення покладів вугілля.

Аналіз попередніх досліджень. Науково-методологічною основою роботи послужили результати власних ландшафтно-еко-

логічних досліджень, опис екологічної ситуації гірничопромислових і постмайнінгових геосистем Львівсько-Волинського басейну (Геоекологія..., 2021; Іванов, Ковальчук та Терещук, 2009; Рудько, Іванов та Ковальчук, 2019) та аналіз екологічних проблем функціонування різних гірничих об'єктів (Іванов, 2007, 2020; Strozik et al., 2016). Водночас, значну увагу приділено питанням функціонування і розвитку постмайнінгових геосистем у районах ліквідованих вугільних шахт (Іванов, Ковальчук, Андрейчук та ін., 2018; Іванов, Ковальчук та Терещук, 2006) та оптимізації планувальної структури (Ковальчук, Іванов та Андрейчук, 2016; Ivanov, Koval'chuk, & Tereshchuk, 2007a,b).

Розглянуто умови формування і відновлення рослинного покриву вугільних териконів (Баранов, 2008; Башуцька, 2006; Кузярін, 2012) та ландшафтно-екологічні основи їхньої рекультивации (Бучацька, 2002; Іванов, Андрейчук та Книш, 2018; Книш, 2008; Попович, 2014; Кнуш, & Карабун, 2014; Popovich, 2016). Простежено особливості просторового поширення та інтенсивності розвитку процесів просідання земної поверхні, затоплення і підтоплення у басейні (Іванов та Кобелька, 2006; Іванов та Ковальчук, 2003; Карабин, 2018; Kovalchuk, Ivanov, Lobanska, & Tereschuk, 2012; Starodub et al., 2016).

Метою статті є аналіз умов формування і розвитку постмайнінгових ландшафтів в межах Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну.

Методи дослідження. У дослідженні використано такі методи як порівняльно-географічний, картографічний, геоінформаційного моделювання, ландшафтно-динамічний, ландшафтно-геохімічний та ін. Для геоекологічного картографування і моделювання використано плани гірничих робіт масштабу 1 : 2 000 – 1 : 5 000. За допомогою топооснов побудовано цифрові моделі рельєфу породного відвалу і морфометричні моделі крутизни та експозиції схилів. Для дешифрування меж рослинних угруповань використано космічні знімки, які отримані із доступної програми *Google Earth Pro*. Космознімки охоплюють період з 2009 до 2020 року. Аналіз вмісту хімічних елементів у літологічних відкладах породного терикону шахти “Візейська” проведений емісійним спектральним методом для 27 хімічних елементів (Токсико-гигиеническая..., 1992) та спектральним напівкількісним методом для 10 хімічних елементів (Книш, 2008; Книш, Харкевич, 2003).

Результати досліджень. Закриття збиткових вугільних шахт Львівсько-Волинського басейну спрямоване на вирішення екологічних проблем у регіоні. Однак при видимій простоті питання, процес ліквідації шахт є дуже складним. Закриття шахт басейну зумовлює активізацію трансформаційних процесів, тому у проектах ліквідації шахтних підприємств передбачено заходи щодо охорони навколишнього середовища, які нерідко не виконуються через відсутнє фінансування рекультивації. У зв'язку із критичним екологічним станом постмайнінгових геосистем слід удосконалити систему моніторингу довкілля.

Під час ліквідації шахт звільнюються та підлягають рекультивації землі, що зайняті промисловими майданчиками, породними відвалами та ставами-відстійниками з подальшим їх господарським використанням. Проектами ліквідації шахт (*наприклад, Про-*

ект..., 2001) передбачено засипання стволів і влаштування огорожі довкола забетонуваних майданчиків стволів, руйнування будівель, що не мають господарського значення. Після рекультивації ці площі можна використовувати під будівництво, городи, випас худоби. На території багатьох шахт вже виникли цехи малих підприємств. Більшість рекультивованих земель перебувають у незадовільному екологічному стані: захисні огорожі розібрані, площі майданчиків занедбані, зарослі деревами і чагарниками, перекопані та засмічені промисловим і побутовим сміттям.

На прикладі двох модельних ділянок розглянемо особливості формування і розвитку постмайнінгових геосистем на основі вугільних відвалів та у зонах затоплення і підтоплення природних місцевостей.

Формування і розвиток постмайнінгових геосистем на вугільних відвалах. Поряд з вугільними шахтами Львівсько-Волинського басейну розміщені терикони (складні системи відвалів), які переважно складаються з двох-трьох відвалів. У більшості випадків старий відвал має конічну, зрідка конічну зрізану, а новий – плоску форму. У басейні нараховують 52 відвали, з яких 41 (78,8 %) – не діючі і на них формуються постмайнінгові геосистеми. Загальна площа териконів становить 6,09 км², в яких накопичено 96,2 млн м³ відходів вуглевидобування. Більшість обсягів відходів складають пісковики, аргіліти, алевроліти й вуглисті сланці, які належать до четвертого класу небезпеки. Поряд із цим до породної маси входять мергелі і крейда, які складають фундамент старих відвалів і місцями виходять на денну поверхню. До хімічних елементів першого класу небезпеки відносять пірити і сірку, на які припадає близько 1,8–2,0 % об'єму відходів (Рудько, Іванов та Ковальчук, 2019).

Старі конічні відвали у 1960–1980 рр. сильно горіли, унаслідок чого гірські породи кристалізовані. Інтенсивне фізичне вивітрю-

вання призвело до утворення метаморфізованих каменів-останців. У кам'яному вугіллі і промислових відходах, що піднімають на поверхню під час видобування вугілля, виявлено понад 70 хімічних елементів, вміст яких, зазвичай, до 0,1 % (*Токсико-гигиеническая...*, 1992). Зазначимо, що саме у відходах міститься пірит, який швидко окислюється. У результаті утворюється сірчана кислота, яка знижує реакцію водних розчинів (рН) породи й інфільтратів до 2,0–3,5 (*Книш та Харкевич, 2003*).

Корисні компоненти і мікроелементи у гірських породах шахтних відвалів, придатні для видобування, відсутні. Суміш з пісковиків, аргілітів й алевролітів з окремих відвалів використовують для виробництва будівельних матеріалів, відсіпання дамб, баластування доріг тощо. Проектами ліквідації шахт передбачено часткове розбирання породних відвалів із подальшим проведенням гірничотехнічного і біологічного етапів рекультивації. На сьогодні рекультиваційні роботи на ліквідованих шахтах перебувають на різних стадіях реалізації. Частина відвалів рекультивовано, на інших активно ведуть планування території, відсіпають родючий шар ґрунту. Однак більшість відвалів залишаються не рекультивованими, на них відбуваються процеси формування постмайнінгових геосистем.

Навіть після закриття шахт і завершення рекультивації породні відвали залишаються основними джерелами забруднення навколишнього природного середовища. Високий вміст екологічно небезпечних елементів у породах шахтних відвалів зумовлюватиме забруднення ґрунтового покриву, підземних вод, деградацію рослинного покриву та впливатиме на життєдіяльність людини. Поряд із породними відвалами на кожній шахті існував відкритий склад вугілля, який є потужним джерелом забруднення довкілля. На ліквідованих шахтних підприємствах склади засипані шаром ґрунтосуміші. На території

закритих шахт розміщені стави-відстійники, які потребують спускання або відкачування шахтних вод, зневоднення донного осаду (шламу), засипання залишкових пустот гірськими породами сусідніх відвалів, демонтажу обладнання, рекультивації їх майданчиків із відновленням ґрунтового-рослинного шару (*Рудько, Іванов та Ковальчук, 2019*).

Для аналізу передумов формування постмайнінгових геосистем обрано модельну ділянку в межах породного терикона шахти “Візейська” (стара назва – № 8 “Великомостівська”), яка у 2009 р. припинила видобування вугілля і на сьогодні ліквідована. Досліджувана ділянка охоплює три з’єднані між собою відвали площею 0,36 км². Для морфометричного аналізу території складено цифрову модель рельєфу (рис. 1а).

Проектом ліквідації шахти (*Проект...*, 2001) передбачено проведення гірничотехнічного етапу рекультивації породного терикону із створенням нових вирівняних форм рельєфу (рис. 1б). Однак, це призведе до трансформації існуючих форм рельєфу, ущільнення верхніх шарів гірських порід, зниження їх фільтраційної здатності, активізації лінійної ерозії, знищення існуючих осередків дрібнозему, ґрунтового і рослинного покривів (рис. 1в). Саме тому, вважаємо, що варто здійснювати рекультивацію терикона і формування постмайнінгових геосистем з урахуванням вже існуючих форм рельєфу. Фітомеліорацію слід проводити без гірничотехнічного вирівнювання його поверхні.

Породний терикон, з ландшафтного погляду, слід розглядати як частину постмайнінгової місцевості (до терикону прилягає відвал ПАТ “Львівська вугільна компанія”). Зважаючи на різний час утворення конусного і плоских відвалів (30–65 років), відмінність у літології порід та їхній експлуатаційний стан, розвиток форм рельєфу, ґрунтового і рослинного покривів нерівномірно, що зумовлює специфіку формування і

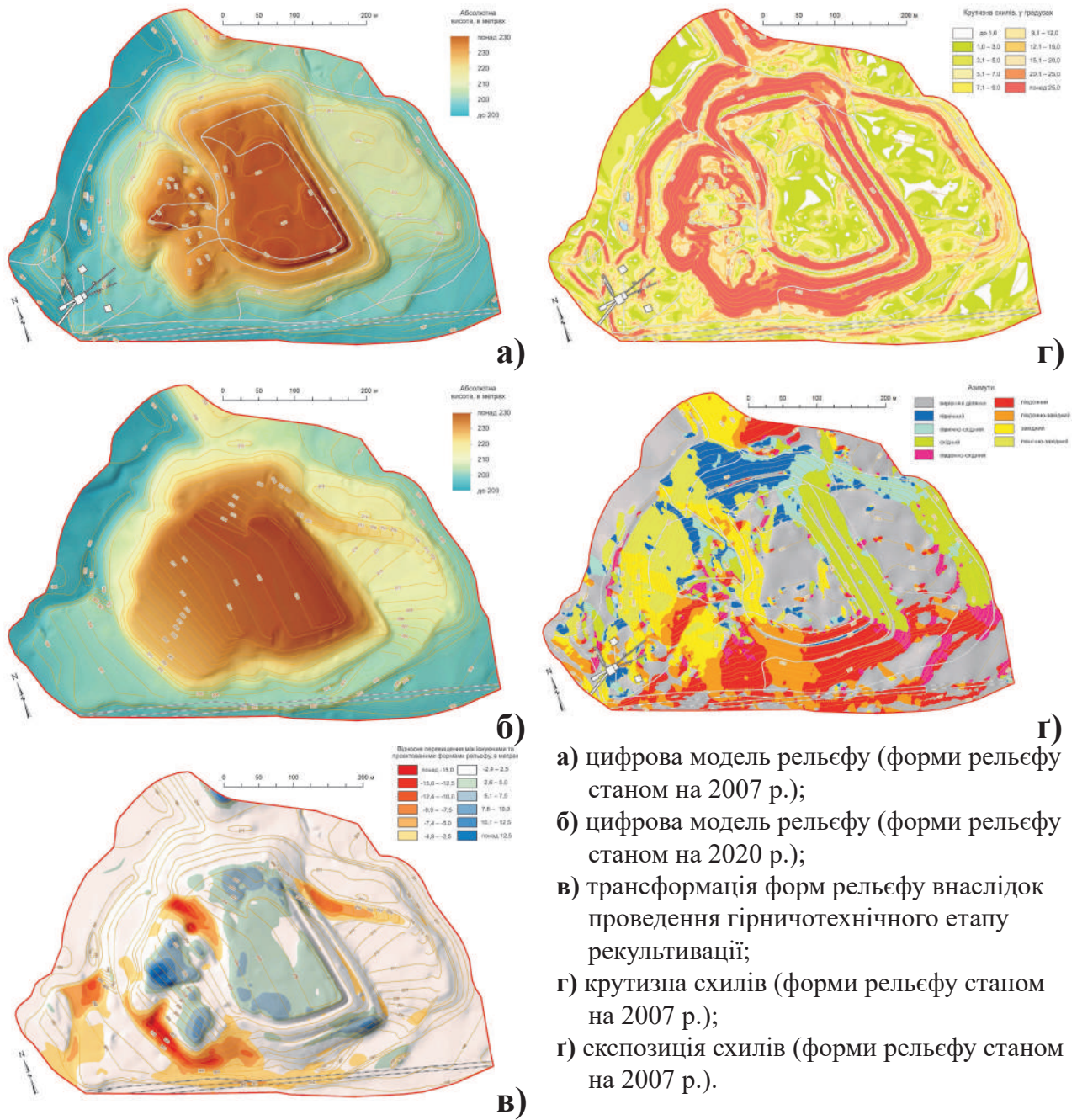


Рис. 1. Трансформація постмайнінгових геосистем терикону шахти “Візейська”

розвитку постмайнінгових геосистем. У межах терикона переважають складні урочища, що формуються на спадистих, дуже крутих і крутих схилах різної експозиції (понад 50 % його площі) (рис. 1г, г). Водночас на горизонтальні, здебільшого платоподібні й горбисті, поверхні припадає до 30–35 % площі терикону (Іванов, Андрейчук та Книш, 2018).

Шахтні відвали складені аргілітами (66

%), алевролітами (22 %), пісковиками (10 %), вугільними сланцями, кам'яним вугіллям і піритами (до 2 %) (Токсико-гигиеническая..., 1992). Порода сформована різними уламково-зернистими утвореннями, розмір уламків якої до 150–200 мм. Мінеральна частина представлена сумішшю метаморфізованих глинистих мінералів, ущільнених і перекристалізованих під дією високих температур і

тиску у тілі терикона. У складі породного терикона 39 % маси відкладів припадає на перегорілий субстрат бурувато-червоного кольору різних відтінків, що свідчить про складність літологічних перетворень у процесі горіння терикона (рис. 2а). Такий склад порід властивий старому конусному відвалу. Негорілі по-

1,5–2,0 м шаром насипних піщаних відкладів (рис. 2в). Для ділянок із негорілими і насипними породами властивий високий вміст вугілля (3–5 %), що ускладнює формування ґрунтового і рослинного покривів (рис. 2г) (Рудько, Іванов та Ковальчук, 2019). Згідно з геохімічними умовами міграції речовин при-

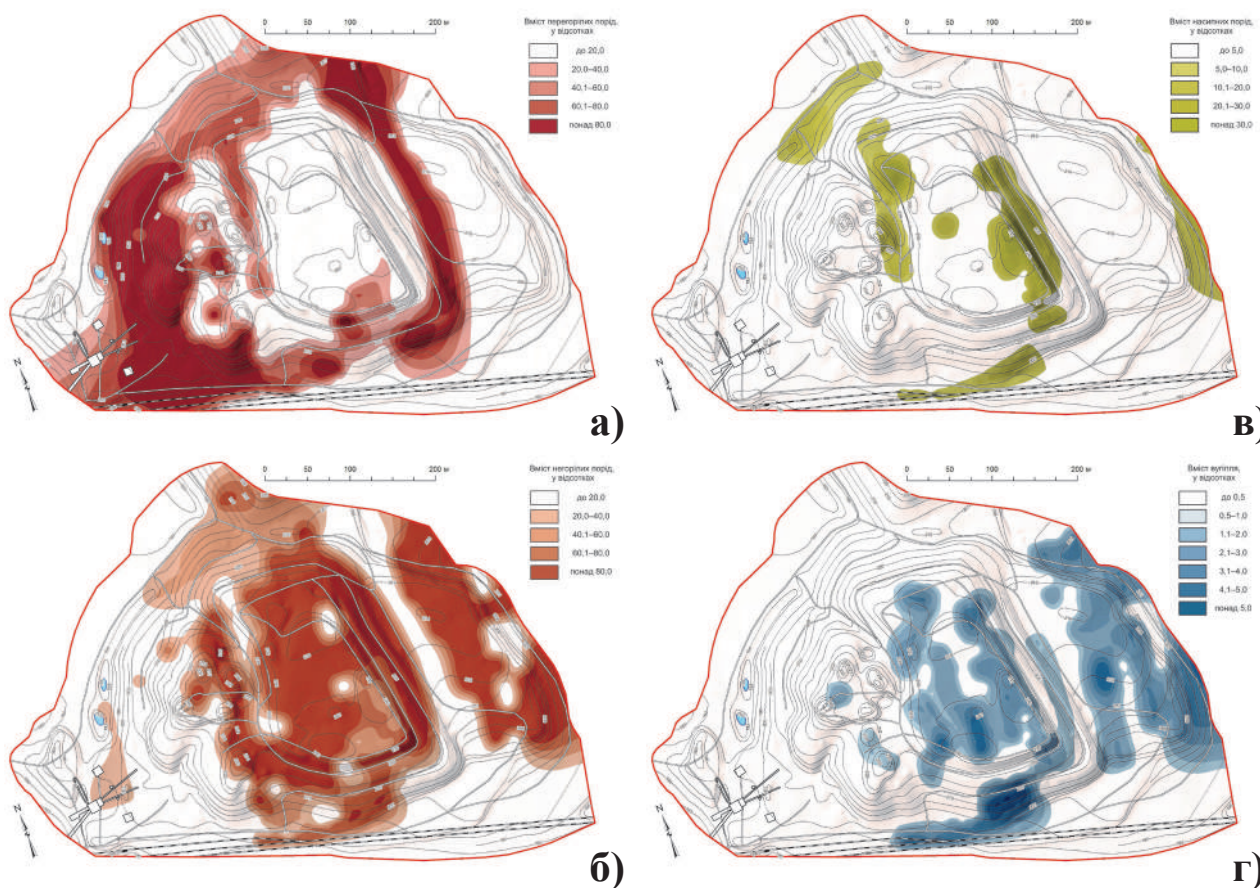


Рис. 2. Склад літологічних відкладів у межах терикону шахти «Візейська»: а) вміст перегорілих порід; б) вміст негорілих порід; в) вміст насипних порід; г) вміст вугілля

роди, з яких складена решта постмайнінгових геосистем терикона, становлять 61 % об'єму терикона (рис. 2б). Для них властиві породної маси чорного і сірого кольорів. Приповерхневий шар відкладів має строкатий гранулометричний склад та представлена крупноламковим матеріалом, головно камінням і гравієм. На їхню частку припадає 60–75 % від загальної маси приповерхневих гірських порід. Окремі схили плоских відвалів вкриті

родні ландшафти довкола терикону шахти «Візейська» відносять до району вільної міграції та інтенсивного виносу забруднюючих речовин, де переважають кислий (Н) і кислотно-лейовий (Н-Fe) класи елементарних ландшафтів акумулятивних рівнин з низькою і середньою ємностями хімічного поглинання. Ділянка є потенційно небезпечною площею інтенсивного забруднення ґрунтових і підземних вод через відсутність поверхневого стоку. Се-

ред порід терикона найліпшими накопичувачами хімічних елементів є аргіліти, вуглисті сланці, вугілля і пірити. У свою чергу, алевроліти є перехідними між пісковиками та аргілітами, а для пісковиків властиві показники, наближені до значень геохімічного фону.

Як перегорілі, так і негорілі породи є накопичувачами хімічних елементів і зумовлюють утворення аномалій на поверхні териконів. Для модельної ділянки властиві значні коливання вмісту титану, мангану, фосфору, міді, нікелю, ванадію, ітербію, берилію та інших хімічних елементів по площі з систематичними перевищеннями рівня геохімічного фону і значень ГДК (рис. 3). Максимальні значення хімічного забруднення зафіксовано у західній частині терикона (біля складу вугілля) і нижніх частинах схилів старого

конусного відвалу. Максимальні рівні хімічного забруднення для багатьох хімічних елементів вищі за ГДК у 25–250 (!) разів (*Токсико-гигиєніческая...*, 1992). На переході від негорілих до перегорілих порід рівень хімічного забруднення зростає. Швидше за все це зумовлено тим, що перегорілі породи щільніші й менше здатні до вилуговування хімічних елементів. Негорілі породи нестійкі до вивітрювання, тому легше втрачають валовий вміст хімічних елементів. Рівень експозиційної дози в межах терикона коливається від 8 до 12 мкР/год і місцями досягає 25–30 мкР/год. Середній валовий вміст стронцію становить 175–180 г/т (Книш, 2008) (рис. 3г).

Літологічний склад дрібнозему і ґрунтосумішей відрізняється в окремих відвалах, що залежить від його природно-антропоген-

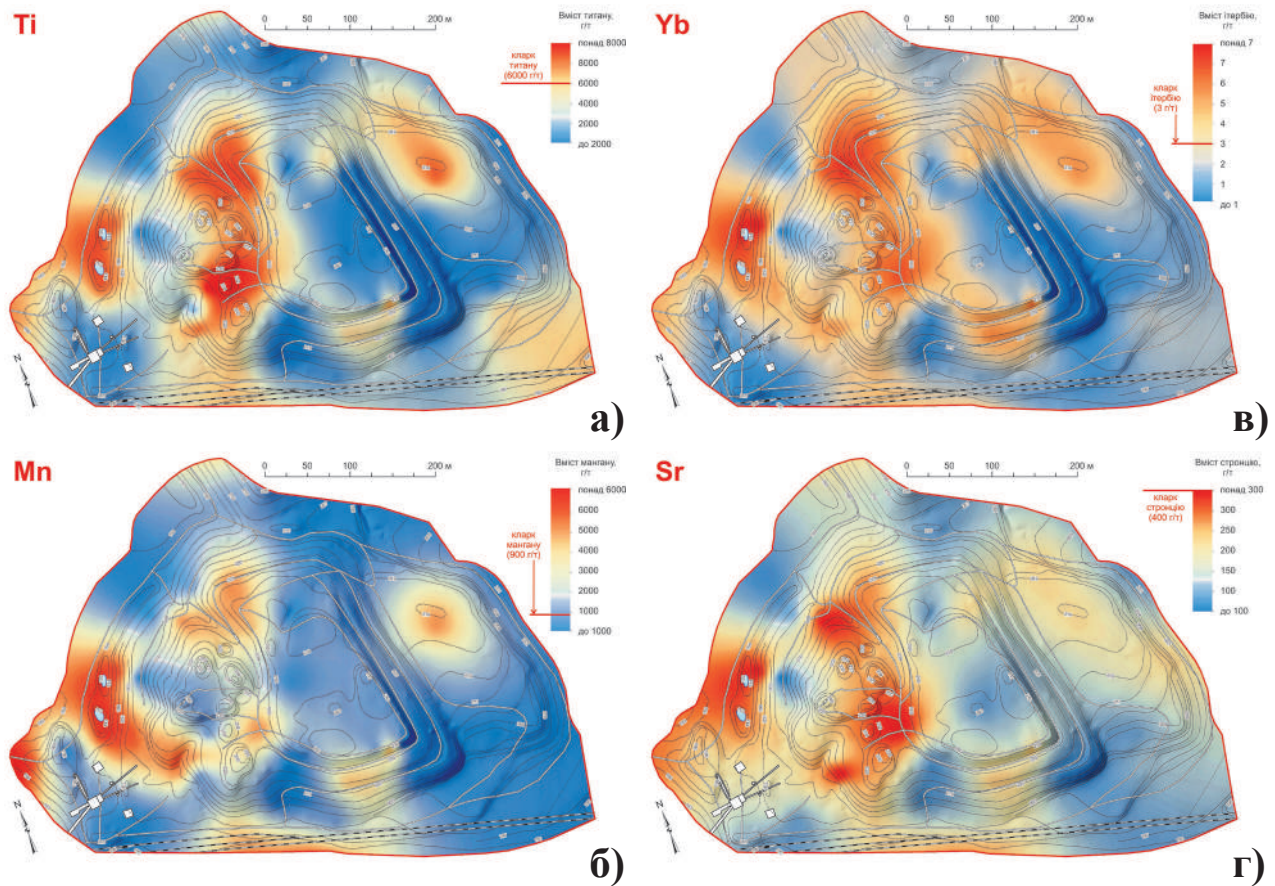
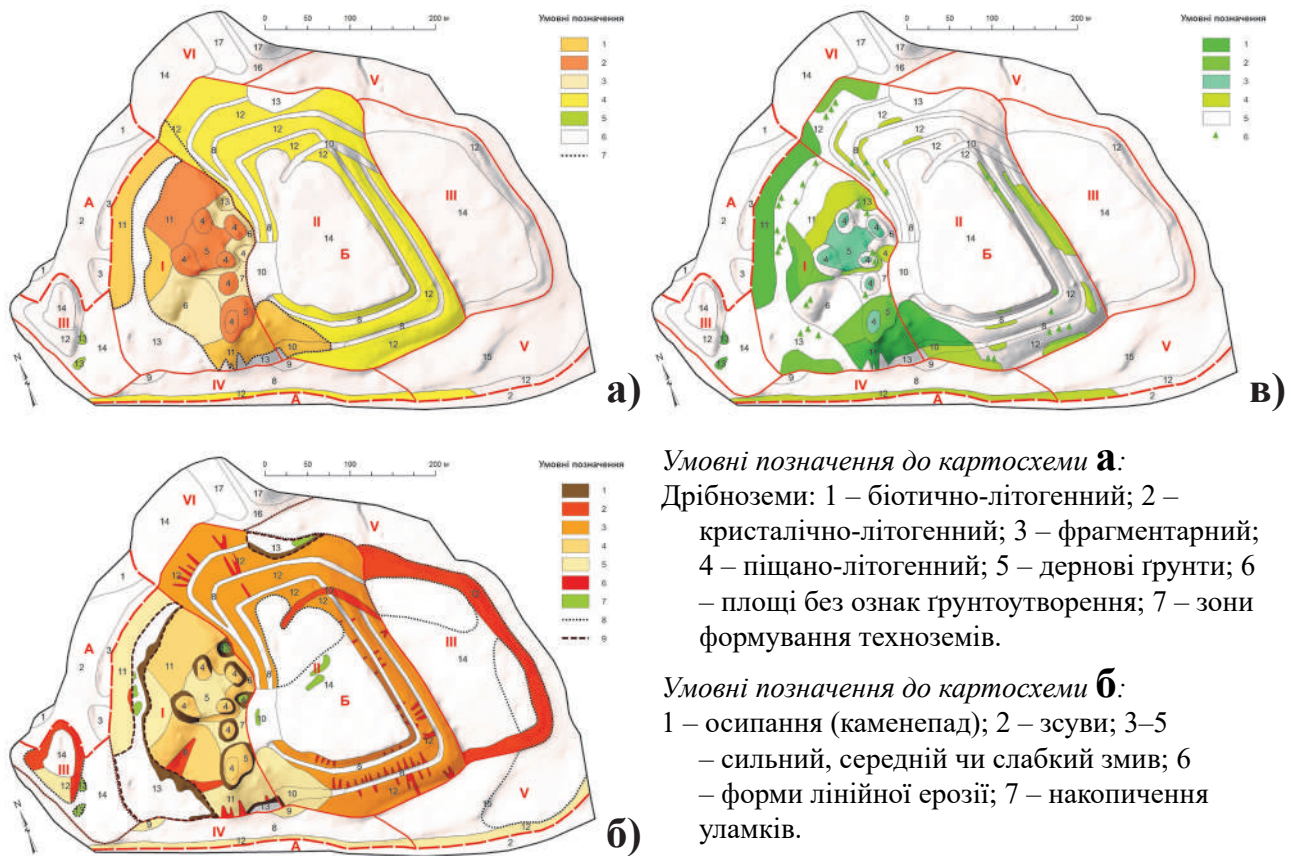


Рис. 3. Вміст хімічних елементів у літологічних відкладах терикону шахти «Візейська»: а) вміст титану (Ti); б) вміст мангану (Mn); в) вміст ітербію (Yb); г) вміст стронцію (Sr)

ного походження: насипного, біотично-літогенного і кристалічно-літогенного (рис. 4а). Найбільшу потужність дрібноземи мають у

параметрами у замкнених пониженнях як результат кращого розвитку рослинності за таких умов, а також завдяки додаткового при-



Умовні позначення до картосхеми а:
 Дрібноземи: 1 – біотично-літогенний; 2 – кристалічно-літогенний; 3 – фрагментарний; 4 – піщано-літогенний; 5 – дернові ґрунти; 6 – площі без ознак ґрунтоутворення; 7 – зони формування техноземів.

Умовні позначення до картосхеми б:
 1 – осипання (каменепад); 2 – зсуви; 3–5 – сильний, середній чи слабкий змив; 6 – форми лінійної ерозії; 7 – накопичення уламків.

Умовні позначення до картосхеми в:
 Рослинні угруповання: 1–2 – лісові; 3 – лучно-чагарникові; 4 – мохово-лучні; 5 – площі без рослинності; 6 – поодинокі дерева.

Рис. 4. Особливості формування і розвитку постмайнінгових геосистем у межах терикону шахти «Візейська»: а) ґрунтоутворення; б) рельєфотвірні процеси; в) формування рослинного покриву.

межах старого конусного відвалу. Практично відсутні ознаки дрібноземів на молодих (10–15 років) відвалах породи, відслоненнях та у колишніх кар’єрних розробках. Продуктивність біологічно стійких насаджень на відвалах, їхній видовий склад і напрям розвитку постмайнінгових геосистем залежать від потужності ембріозему. На схилах крутизною 20–25° цей шар має 0,2–0,5 м. Утворення гумусу досягає максимуму в межах геосистем з оптимальними гідротермічними

внесення дрібнозему з оточуючих схилів (Іванов, 2007).

В межах терикону розвиваються денудаційні процеси, що формують окремі мезо- і мікроформ, які є основою для постмайнінгових геосистем. Серед схилових рельєфотвірних процесів найактивнішими є осипання і зсування породи, лінійна ерозія і площинний змив (рис. 4б). Численні зсуви і каменепаді приурочені до дуже крутих та обривистих схилів конусного відвалу. Про-

цеси змиву характерні для всього терикона, що пов'язане зі значною крутизною схилів, малою водопроникністю гірських порід і бідністю рослинного покриву. Це також сприяє утворенню великої кількості ерозійних форм. Рельєф відвалів ускладнений сучасними техногенними процесами, а саме проведенням рекультиваційних робіт, кар'єрним розробленням відкладів для виробництва будівельних матеріалів, відсипанням підтоплених і заболочених територій та гасінням відвалів.

У процесах розподілу екологічних характеристик постмайнінгових геосистем провідну роль відіграють крутизна, експозиція і форма схилів та їхня довжина. Вони визначають особливості радіаційного, теплового і водного балансу й мікроклімат геосистем. Для відвалів зі схилами $40\text{--}45^\circ$ значення абсолютних величин сумарної радіації на схилах південної експозиції на десятки, а в окремих випадках на сотні відсотків більше, ніж на схилах північної експозиції. Іншим важливим чинником, що визначає термічний режим земної поверхні терикона є наявність осередків горіння. На поверхні старого відвалу зафіксовані осередки площею понад 100 м^2 із підняття температури до $65\text{--}80^\circ\text{C}$, а в окремих випадках до 125°C . Термічні “острови” вирізняються із оточення у зимовий період року, що слід враховувати під час проведення фітомеліорації (Іванов, Андрейчук та Книш, 2018).

Рослинність на оголеному приповерхневому шарі гірських порід відвалів має мозаїчний характер та охоплює різноманітні угруповання. Це насамперед піонерні трав'яні формації або угруповань з одного–трьох видів дерев, головно сосни звичайної, дуба черешчатого і берези бородавчастої, чагарників, трави чи моху у вигляді окремих плям. Згодом (за 5–10 років) до їхнього складу долучаються особини інших видів рослинності, що приводить до формування складніших угруповань та стійкішого рослинного покриву. Послідов-

ність стадій розвитку рослинного покриву на відвалах виглядає так: деревна, деревно-мохова, деревно-різнотравна, деревно-злакова і деревно-чагарниково-злакова. Ці стадії завершуються здебільшого сосново-дубовою асоціацією, особливістю якої є едафічна зумовленість панування сосни звичайної чи дуба черешчатого від походження дрібнозему. Найскладніші рослинні формації поширені в межах старого конусного відвалу. Вони відповідають деревно-моховій стадії самовідновлення схилових поверхонь і деревно-різнотравній стадії передвідвальних поверхонь і верхніх плато відвалів. До фонових видів належать сосна звичайна і береза черешчаста. На заліснених і терасованих схилах відвалів зустрічається вільха чорна та акація біла. В угрупованнях довкола терикона відбувається всихання дерев, яке зумовлено підтопленням і заболоченням, на першій стадії якого сохнуть крони сосни звичайної, потім всихає й підлісок. Водночас, простежується відновлення осики, як реакція на освітлення і надлишкове зволоження, а у трав'яному покриві з'являються рудеральні види. У місцях зі значним просіданням земної поверхні поширені адвентивні рослини, які формують сегетальні і рудеральні фітоценози (Рудько, Іванов та Ковальчук, 2019).

Рослинний покрив терикона шахти “Візейська”, який виник у результаті процесу його самозаростання (рис. 4в). Доцільно здійснити садження стійких до природних умов регіону і геохімічного забруднення лісових культур, а саме: сосни звичайної, вільхи чорної та акації білої у поєднанні з висівом бобових трав. Проведена фітомеліорація дасть змогу зберегти сформовані ландшафти, послабити активність прояву природно-антропогенних процесів та створити передумови для формування культурних постмайнінгових геосистем, які з часом (через 50–100 років), після пониження рівнів хімічного і радіоактивного забруднення, можна використати як

зону рекреації і відпочинку.

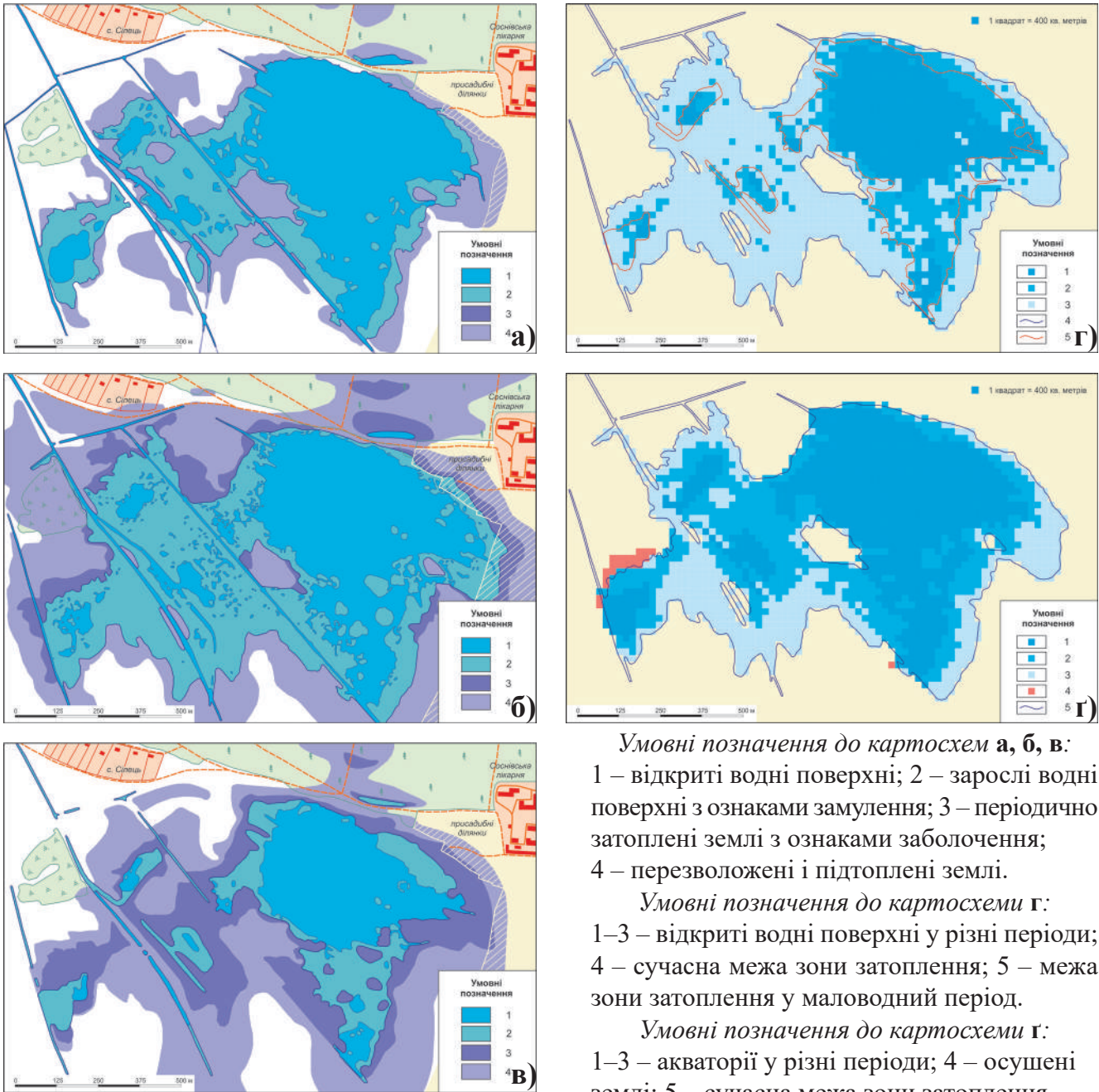
Формування і розвиток постмайнінгових геосистем у зонах затоплення і підтоплення. Інтенсивне затоплення і підтоплення проявляються в межах Львівсько-Волинського басейну. Розвиток цих процесів у значній мірі зумовлений ландшафтною структурою території. Ще до початку розроблення покладів кам'яного вугілля для малополіської частини басейна був характерний високий ступінь заболоченості і наявність численних понижень, які періодично заповнювалися водою. Це зумовлено рівнинністю поверхні із малою розчленованістю рельєфу, малою глибиною ґрунтових вод та значною кількістю опадів (650–700 мм/рік). Від початку розроблення вугільних покладів у басейні широкого розвитку набули процеси затоплення і підтоплення земель, викликані техногенними чинниками. Серед цих чинників виокремимо недостатньо обґрунтоване проведення гірничих робіт, невдале обрання місць для відсіпання териконів, відвалів і хвостосховищ, некеровані затоплення і консервація шахтних виробок (Іванов та Кобелька, 2006).

У багатьох місцях басейну утворилися нові водойми – затоплені пониження округлої, овальної чи видовженої форми діаметром 100–150 м, які постійно заповнені поверхневими і ґрунтовими водами. Найбільші водойми, що виникли внаслідок затоплення, мають діаметр до 500–800 м і площу понад 10 га (Іванов, 2007). Частина водойм виникла на місці колишніх заболочених ділянок, інші з'явилися на тих полях, де раніше заболочення не спостерігали та які були зайняті ріллею, сіножатями, пасовищами чи лісами. Затоплені і підтоплені ділянки зафіксовано в межах житлових чи промислових площ міст Червонограда і Соснівки, селища Гірник, сіл Межиріччя, Бендюга, Сілець і Волсвин. Підтоплення знижених природних ділянок із малою глибиною ґрунтових вод починається

після просідання земної поверхні на 1,5–2,0 м або за умов штучного утворення безстічної місцевості. Значні площі поселень, які розташовані в межах місцевостей плоских поверхонь заплавлі річок Західний Буг, Рата і Солокія та низької першої надзаплавної тераси та зазнали інтенсивних просідань (2,0–2,5 м), щороку страждають від впливу техногенних повеней і паводків, що залишають населення без житла і завдають значних матеріальних збитків сільському господарству (Іванов, 2007).

Особливості виникнення і розвитку постмайнінгових геосистем у зонах затоплення і підтоплення розглянемо на прикладі модельної ділянки “Соснівка”. Ділянку площею 1,68 км² закладено у межах мульди просідання земної поверхні шахт “Візейська” і “Надія”. Внаслідок розроблення чотирьох вугільних пластів у м. Соснівка Львівської області та його околицях відбулося нерівномірне просідання земної поверхні та утворення мульди діаметром понад 1 000 м і глибиною до 1,6–2,2 м (Іванов та Ковальчук, 2003). Мульда виникла 20 років тому за відносно стислий період часу. Протягом двох років на місці пасовищ, сіножатей і присадибних ділянок сформувалася молода водойма, яка наблизилася до лісового масиву. Водночас у лісі, що розміщений в межах слабоприпіднятого межиріччя, ускладненого еоловими горбами, виникли дві менші за розміром підтоплені і заболочені площі. Їхнє утворення поряд із інтенсивним просіданням земної поверхні зумовив безстічний характер місцевості (Рудько, Іванов та Ковальчук, 2019).

На основі дешифрування космознімків *Landsat ETM+* у районі водойми виділено етапи формування постмайнінгових геосистем (рис. 5а,б,в). Зокрема, виділено відкриті акваторії; зарослі й замулені водні поверхні, які вкриті болотною рослинністю; періодично затоплені й сильноперезволожені ділянки із ознаками заболочення; підтопле-



Умовні позначення до картосхем а, б, в:
 1 – відкриті водні поверхні; 2 – зарослі водні поверхні з ознаками замулення; 3 – періодично затоплені землі з ознаками заболочення; 4 – перезволожені і підтоплені землі.

Умовні позначення до картосхеми г:
 1–3 – відкриті водні поверхні у різні періоди; 4 – сучасна межа зони затоплення; 5 – межа зони затоплення у маловодний період.

Умовні позначення до картосхеми г:
 1–3 – акваторії у різні періоди; 4 – осушені землі; 5 – сучасна межа зони затоплення.

Рис. 5. Формування і розвиток постмаїнінгових геосистем у межах мульди просідання земної поверхні шахт “Візейська” і “Надія” (фрагмент картосхеми): а) станом на 20 квітня 2009 р.; б) станом на 26 серпня 2012 р.; в) станом на 29 березня 2014 р.; г) мозаїка формування відкритих водних поверхонь; г) мозаїка порівняльної динаміки затоплення природно-господарських систем.

ні і перезволожені ділянки. Середні значення глибини зони затоплення є незначними (0,75–1,70 м). Одночасно у водоймі сформовано невеликі за розміром глибокі ділянки, а максимальна глибина становить 4,5 м.

У зоні затоплення поверхневими і грун-

товими водами відзначено суттєві коливання рівня води, які носять сезонний характер: найнижчий рівень припадає на серпень–вересень (жовтень), а найвищий – на березень–квітень. Виявлено, що у маловодний період рівень води понизився на 0,32 м, що при-

звело до зменшення площі водної поверхні у два рази (рис. 5г). У 2014 р. максимальний рівень води у зоні затоплення нижче від 2009 р. (на 0,14 м) і пояснюється малосніжним роком (Іванов, Ковальчук та Терещук, 2006). Також виявлено розширення та поступове переміщення акваторії у східному і південно-східному напрямках (рис. 5г). Середня швидкість переміщення зони затоплення становить 1,4–3,0 м/рік і викликано розширенням мульди просідання у напрямку міста (Рудько, Іванов та Ковальчук, 2019).

В останні роки спостерігаємо формування численних осередків-островів і підводних піднять, що обростають очеретами і рогозою. Ці осередки щосезонно повністю або частково опускаються під воду. Водночас, в межах зарослих ділянок утворилися невеликі відкриті водні простори та зони із низькою щільністю рогозово-очеретяних угруповань. Відзначимо суттєві зміни у береговій смузі водойм, де відбувається інтенсивне заболочення й заростання ряскою. Загалом, екологічна ситуація в межах модельної ділянки докорінно змінилася після ліквідації шахти “Візейська”, повторно активізувалися процеси через суттєве підняття рівня підземних і ґрунтових вод. Затоплення і підтоплення несе небезпеку для життєдіяльності людини та спричинює трансформацію постмайнінгових геосистем.

На жаль, протипаводкові заходи не дають належного ефекту. На сьогодні розроблено проектну документацію щодо побудови каналу між річками Рата і Західний Буг з

метою відведення надлишкових вод від поселень. Проект покликаний позбавити їх мешканців від щорічного підтоплення будинків, прибудов і городів. Канал повинен пересікати модельну ділянку, зону затоплення й прилеглі підтопленні і заболочені ділянки, що ускладнює його будівництво. Вважаємо це проектне рішення необґрунтованим з погляду гідроекологічної доцільності, яке є дорогим і малоефективним. У зв'язку із недостатнім фінансування, проект не реалізовано.

Висновки. На основі ландшафтно-екологічних досліджень, що проведені у межах Львівсько-Волинського вугільного басейну вивчено специфіку функціонування і розвитку різних постмайнінгових геосистем, що сформувалися в межах породних териконів вугільних шахт. Важливими є аналіз рівня антропогенної трансформації геосистем районів розроблення кам'яного вугілля, оцінювання сучасного стану та інтенсивності прояву процесів просідання земної поверхні, її затоплення і підтоплення. При цьому обґрунтовано ландшафтні основи проведення оптимізаційних робіт у межах різних вугледобувних об'єктів. Розглянуто існуючі та запропоновано нові підходи щодо поліпшення сучасної екологічної ситуації у басейні, рекультивації і фітомеліорації вугільних териконів і відвалів, оптимізації використання зон затоплення і підтоплення, налагодження системи дієвого моніторингу стану навколишнього середовища тощо.

Список використаних джерел

- Баранов, В. (2008). Екологічний опис породного відвалу вугільних шахт ЦЗФ ЗАТ “Львівсистеменерго” як об'єкта для озеленення. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*, 46, 172–178.
- Башуцька, У. Б. (2006). *Сукцесії рослинності породних відвалів шахт Червоноградського гірничопромислового району*. Львів: РВВ НЛТУ України.

- Бучацька, Г. М. (2002). Геохімічні і гідрогеохімічні особливості Червоноградського гірничопромислового району. *Вісник Львівського університету. Серія геологічна*, 16, 143–154.
- Іванов, Є. (2007). *Ландшафти гірничопромислових територій*. Львів: ВЦ ЛНУ ім. І. Франка.
- Іванов, Є. (2020). Екологічні проблеми функціонування хвостосховищ і ставів-відстійників ПАТ “Львівська вугільна компанія”. *Ресурси природних вод Карпатського регіону (Проблеми охорони та раціонального використання)*. Львів, 28–32.
- Іванов, Є. (Ред.). (2021). *Геоecологія Львівської області*. Львів: Простір-М.
- Іванов, Є. А. (2017). *Природно-господарські системи гірничопромислових територій Західного регіону України: функціонування, моделювання, оптимізація: автореферат*. Київ: ФОП Корпан Б. І.
- Іванов, Є. А., & Ковальчук І. П. (2003). Сучасний стан розвитку процесів підтоплення і заболочення в межах Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну. *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності*, 6, 79–84.
- Іванов, Є. А., Андрейчук, Ю. М., & Книш, І. Б. (2018). Ландшафтно-екологічні основи рекультивациі породного терикону шахти “Візейська”. *Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування*. Львів, 2, 68–74.
- Іванов, Є., & Кобелька, М. (2006). Сучасний стан та інтенсивність розвитку процесів просідання і підтоплення в межах Червоноградського гірничопромислового району. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*, 33, 112–121.
- Іванов, Є., Ковальчук, І., & Терещук, О. (2006). Зміна геоecологічного стану природно-господарських систем Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну у зв'язку із закриттям нерентабельних шахт. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій*, 3, 42–55.
- Іванов, Є., Ковальчук, І., & Терещук, О. (2009). *Геоecологія Нововолинського гірничопромислового району*. Луцьк: ВНУ ім. Лесі Українки.
- Іванов, Є., Ковальчук, І., Андрейчук, Ю., Ключник, В., & Тиханович, Є. (2018). Функціонування і розвиток постмайнінгових геосистем Західного регіону України. *GeoTerrace-2018*. Львів, 65–70.
- Карабин, В. В. (2018). Чинники просідання та підтоплення територій вуглевидобутку Червоноградського гірничопромислового району. *Мінеральні ресурси України*, 3, 32–36.
- Книш, І. Б. (2008). Геохімія мікроелементів у породах терикона шахти “Візейська” Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну. *Вісник Львівського університету. Серія геологічна*, 22, 58–71.
- Книш, І. Б., & Харкевич, В. В. (2003). Розподіл вмісту хемічних елементів у породах териконів Червоноградського гірничопромислового району. *Вісник Львівського університету. Серія геологічна*, 17, 148–158.
- Ковальчук, І. П., Іванов, Є. А., & Андрейчук, Ю. М. (2016). Актуальні проблеми оптимізації постмайнінгових геосистем. *Землеустрій, кадастр та охорона земель в Україні: сучасний стан, європейські перспективи*. Київ, 202–206.
- Кузярін, О. Т. (2012). Порівняльний аналіз флори вугільних відвалів Львівсько-Волинського гірничопромислового регіону. *Біологічні студії*, 2 (6), 189–198.
- Попович, В. В. (2014). *Фітомеліорація згасаючих териконів Львівсько-Волинського вугільного басейну*. Львів: ЛДУ БЖД.
- Проект ліквідації шахти “Візейська” ДП “Львіввугілля” (2001). Кн. 1. Пояснювальна записка. Київ: УкрНІІпроект.
- Рудько, Г. І., Іванов, Є. А., & Ковальчук, І. П. (2019). *Гірничопромислові геосистеми Західного регіону України*. Київ–Чернівці: Букрек.
- Токсиколого-гігієнічна характеристика породи терикона шахти № 8 “Великомостівська”. (1992). Львів: Укрзахідвугілля.
- Ivanov, Y., Koval'chuk, I., & Tereshchuk, O. (2007). Konieczność udoskonalenia struktury planowania przestrzennego Lwowsko-Wołyńskiego Zagłębia Węgla Kamiennego w warunkach zamknięcia

nierentownych kopalń. *Planowanie przestrzenne – szanse i zagrożenia społeczno-środowiskowe*. Lublin, 452–466.

Ivanov, Ye., Kovalchuk, I., & Tereshczuk, O. (2007). The necessity of improving the spatial planning structure of the Lvov-Volyn Coal Fields in the context of shutdown of unprofitable coalmines. *Spatial planning – social and environmental opportunities and threats*. Lublin: Publishing House of Catholic University of Lublin, 452–466.

Knysh, I., & Karabyn, V. (2014). Heavy metals distribution in the waste pile rocks of Chervonogradska mine of the Lviv-Volyn coal basin (Ukraine). *Pollution Research Journal Papers*, 4(33), 663–670.

Kovalchuk, I., Ivanov, Ye., Lobanska, N., & Tereschuk O. (2012). New approach to modeling of flood risk in the area of coal mining. *Human Impact on the Fluvial Processes of Eurasian Rivers*. Bydgoszcz: Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, 180–189.

Popovich, V. V. (2016). Phytomeliorative recovery in reduction of multi-element anomalies influence of devastated landscapes. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytskyi Melitopol State Pedagogical University*, 1 (6). <https://doi.org/10.15421/201606>

Starodub, Y., Karabyn, V., Havrys, A., Shainoga, I., & Samberg, A. (2018). Flood risk assessment of Chervonograd mining-industrial district, Proc. SPIE 10783, *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XX*. <https://doi.org/10.1117/12.2501928>

Stozik, G., Jendruś, R., Manowska, A., & Popczyk, M. (2016). Mine Subsidence as a Post-Mining Effect in the Upper Silesia Coal Basin. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2 (25), 777–785. <https://doi.org/10.15244/pjoes/61117>

References

Baranov, V. (2008). Ekolohichniy opys porodnoho vidvalu vuhilnykh shakht TsZF ZAT “Lvivsystemenerho” yak obiektu dlia ozelenennia [Ecological description of the tailings of the coal mines of the CCF CJSC “Lvivsystemergo” as an object for landscaping]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriiia biolohichna*, 46, 172–178. [in Ukrainian].

Bashutska, U. B. (2006). Suktsesii roslynnosti porodnykh vidvaliv shakht Chervonohradskoho hirnychopromyslovoho raionu [Vegetation successions of rock dumps of mines of the Chervonograd mining district]. Lviv: RVV NLTU Ukrainy. [in Ukrainian].

Buchatska, H. M. (2002). Heokhimichni i hidroheokhimichni osoblyvosti Chervonohradskoho hirnychopromyslovoho raionu [Geochemical and hydrogeochemical features of the Chervonograd mining district]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriiia heolohichna*, 16, 143–154. [in Ukrainian].

Ivanov, Ye. (Red.). (2021). *Heoekolohiia Lvivskoi oblasti [Geoecology of Lviv region]*. Lviv: Prostir-M. [in Ukrainian].

Ivanov, Ye. (2020). Ekolohichni problemy funktsionuvannia khvostoskhovyshch i staviv-vidstiinykiv PAT “Lvivska vuhilna kompaniia” [Environmental problems of the functioning of tailings and sedimentation ponds of PJSC “Lviv Coal Company”]. *Resursy pryrodnykh vod Karpatskoho rehionu (Problemy okhorony ta ratsionalnoho vykorystannia)*. Lviv, 28–32. [in Ukrainian].

Ivanov, Ye. (2007). *Landshafty hirnychopromyslovykh terytorii [Landscapes of mining territories]*. Lviv: VTs LNU im. I. Franka. [in Ukrainian].

Ivanov, Ye. A. (2017). *Pryrodno-hospodarski systemy hirnychopromyslovykh terytorii Zakhidnoho rehionu Ukrainy: funktsionuvannia, modeliuвання, optymizatsiia []: avtoreferat*. Kyiv: FOP Korpan B. I. [in Ukrainian].

Ivanov, Ye., & Kobelka, M. (2006). Suchasnyi stan ta intensyvnist rozvytku protsesiv prosidannia i pidtoplennia v mezhakh Chervonohradskoho hirnychopromyslovoho raionu [Current state and intensity of development of subsidence and flooding within Chervonograd mining district]. *Visnyk Lvivskoho*

- universytetu. Seriiia heohrafichna*, 33, 112–121. [in Ukrainian].
- Ivanov, Ye., Kovalchuk, I., Andreichuk, Yu., Kliuinyk, V., & Tykhanovych, Ye. (2018). Funktsionuvannia i rozvytok postmaininhovykh heosystem Zakhidnoho rehionu Ukrainy [Functioning and development of post-mining geosystems in the Western region of Ukraine]. *GeoTerrace-2018*. Lviv, 65–70. [in Ukrainian].
- Ivanov, Ye., Kovalchuk, I., & Tereshchuk, O. (2009). *Heoekolohiia Novovolynskoho hirnychopromysloвого raionu [Geoecology of Novovolynsk mining district]*. Lutsk: VNU im. Lesi Ukrainky. [in Ukrainian].
- Ivanov, Ye., Kovalchuk, I., & Tereshchuk, O. (2006). Zmina heoekolohichnoho stanu pryrodno-hospodarskykh system Lvivsko-Volynskoho kamianovuhilnoho baseinu u zviazku iz zakryttiam nerentabelnykh shakht [Change in the geoecological state of the natural and economic systems of the Lviv-Volyn coal basin in connection with the closure of unprofitable mines]. *Pryroda Zakhidnoho Polissia ta prylehlykh terytorii*, 3, 42–55. [in Ukrainian].
- Ivanov, Ye. A., Andreichuk, Yu. M., & Knysh, I. B. (2018). Landshaftno-ekolohichni osnovy rekultyvatsii porodnoho terykonu shakhty “Vizeiska” [Landscape-ecological foundations of the reclamation of the bedrock tericon of the Vizeyska mine]. *Nadrokorystuvannia v Ukraini. Perspektyvy investuvannia*. Lviv, 2, 68–74. [in Ukrainian].
- Ivanov, Ye. A., & Kovalchuk I. P. (2003). Suchasnyi stan rozvytku protsesiv pidtoplennia i zabolochennia v mezhakh Lvivsko-Volynskoho kamianovuhilnoho baseinu [The current state of development of flooding and waterlogging processes within the Lviv-Volyn coal basin]. *Ekolohiia dovykillia ta bezpeka zhyttiediialnosti*, 6, 79–84. [in Ukrainian].
- Karabyn, V. V. (2018). Chynnyky prosidannia ta pidtoplennia terytorii vuhlevydobutku Chervonohradskoho hirnychopromysloвого raionu [Factors of subsidence and flooding of coal mining areas of the Chervonograd mining district]. *Mineralni resursy Ukrainy*, 3, 32–36. [in Ukrainian].
- Knysh, I. B. (2008). Heokhimiia mikroelementiv u porodakh terykona shakhty “Vizeiska” Lvivsko-Volynskoho kamianovuhilnoho baseinu [Geochemistry of microelements in tericon rocks of the Vizeyska mine of the Lviv-Volyn coal basin]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriiia heolohichna*, 22, 58–71. [in Ukrainian].
- Knysh, I. B., & Kharkevych, V. V. (2003). Rozpodil vmistu khemichnykh elementiv u porodakh terykoniv Chervonohradskoho hirnychopromysloвого raionu [Distribution of the content of chemical elements in the rocks of tericons of the Chervonograd mining district]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriiia heolohichna*, 17, 148–158. [in Ukrainian].
- Kovalchuk, I. P., Ivanov, Ye. A., & Andreichuk, Yu. M. (2016). Aktualni problemy optymizatsii postmaininhovykh heosystem [Actual problems of optimization of post-mining geosystems]. *Zemleustrii, kadastr ta okhorona zemel v Ukraini: suchasnyi stan, yevropeiski perspektyvy*. Kyiv, 202–206. [in Ukrainian].
- Kuziarin, O. T. (2012). Porivnialnyi analiz flory vuhilnykh vidvaliv Lvivsko-Volynskoho hirnychopromysloвого rehionu [Comparative analysis of the flora of coal dumps in the Lviv-Volyn mining region]. *Biolohichni studii*, 2 (6), 189–198. [in Ukrainian].
- Popovych, V. V. (2014). *Fitomelioratsiia zghasaiuchykh terykoniv Lvivsko-Volynskoho vuhilnoho baseinu [Phytomelioration of fading terricones of the Lviv-Volyn coal basin]*. Lviv: LDU BZhD. [in Ukrainian].
- Proekt likvidatsii shakhty “Vizeiska” DP “Lvivvugillia” [Project for the liquidation of the Vizeyska mine of the SE “Lvivvugillya”] (2001). Kn. 1. Poiasniuvalna zapyska. Kyiv: UkrNIIproekt. [in Ukrainian].
- Rudko, H. I., Ivanov, Ye. A., & Kovalchuk, I. P. (2019). *Hirnychopromyslovi heosystemy Zakhidnoho rehionu Ukrainy [Mining geosystems of the Western region of Ukraine]*. Kyiv–Chernivtsi: Bukrek. [in Ukrainian].
- Toksykoloheo-hihiienichna kharakterystyka porody terykona shakhty № 8 “Velykomostivska” [Toxicological and hygienic characteristics of the tericon breed of mine No. 8 “Velikomostivska”]. (1992). Lviv: Ukrzakhidvuhillia. [in Ukrainian].

- Ivanov, Y., Koval'chuk, I., & Tereshchuk, O. (2007). Konieczność udoskonalenia struktury planowania przestrzennego Lwowsko-Wołyńskiego Zagłębia Węgla Kamiennego w warunkach zamknięcia nierentownych kopalń. *Planowanie przestrzenne – szanse i zagrożenia społeczno-środowiskowe*. Lublin, 452–466. [in Polish].
- Ivanov, Ye., Kovalchuk, I., & Tereshczuk, O. (2007). The necessity of improving the spatial planning structure of the Lvov-Volyn Coal Fields in the context of shutdown of unprofitable coalmines. *Spatial planning – social and environmental opportunities and threats*. Lublin: Publishing House of Catholic University of Lublin, 452–466. [in English].
- Knysh, I., & Karabyn, V. (2014). Heavy metals distribution in the waste pile rocks of Chervonogradska mine of the Lviv-Volyn coal basin (Ukraine). *Pollution Research Journal Papers*, 4(33), 663–670. [in English].
- Kovalchuk, I., Ivanov, Ye., Lobanska, N., & Tereschuk O. (2012). New approach to modeling of flood risk in the area of coal mining. *Human Impact on the Fluvial Processes of Eurasian Rivers*. Bydgoszcz: Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, 180–189. [in English].
- Popovich, V. V. (2016). Phytomeliorative recovery in reduction of multi-element anomalies influence of devastated landscapes. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytsky Melitopol State Pedagogical University*, 1 (6). <https://doi.org/10.15421/201606> [in English].
- Starodub, Y., Karabyn, V., Havrys, A., Shainoga, I., & Samberg, A. (2018). Flood risk assessment of Chervonograd mining-industrial district, Proc. SPIE 10783, *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XX*. <https://doi.org/10.1117/12.2501928> [in English].
- Stozik, G., Jendruś, R., Manowska, A., & Popczyk, M. (2016). Mine Subsidence as a Post-Mining Effect in the Upper Silesia Coal Basin. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2 (25), 777–785. <https://doi.org/10.15244/pjoes/61117> [in English].

Статтю надіслано до редколегії 21.06.2024 р.