

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ НАФТОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ

УДК 504.550.43 (477.8)

А. В. Пукіш¹, П. Г. Дригулич²

*¹Науково-дослідний і проектний
інститут ПАТ "Укрнафта",*

²НАК «Нафтогаз України»

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВІДНОВЛЕННЯ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ПОКЛАДІВ

У статті проведено аналіз причин забруднення довкілля в процесі розробки нафтогазових родовищ на пізній стадії та після завершення їх експлуатації. На прикладі Бориславського родовища доведено, що розроблення родовищ на завершальній стадії та виведення їх з розробки може мати суттєві екологічні наслідки і потребує детального вивчення з точки зору впливу на довкілля.

Ключові слова: нафтогазове родовище, вуглеводні, регенерація, забруднення, ліквідація свердловин

The article analyzes the causes of environmental pollution during the development of oil and gas fields at the late stage and after the completion of their exploitation. An example of the Borislav deposit proved that the development of deposits at the final stage and their withdrawal from the development can have significant environmental consequences and require detailed study in terms of environmental impact.

Key words: oilfield, hydrocarbons, regeneration, pollution, liquidation of wells

Постановка проблеми. Основними наслідками довготривалого видобування нафти є забруднення практично усіх компонентів довкілля пластовими флюїдами – нафтою, газом, високомінералізованими пластовими водами. Значна частина учених-геологів світу на даний час, вважають, що нафта та газ є відносно невичерпними ресурсами, які здатні поновлюватись, разом з тим відновлюється також і енергія пласта.

Аналіз досліджень і публікацій. В. І. Созанський у роботі [1] обґрунтовано приходить до висновку, що родовища нафти і газу – системи, які самовідновлюються і є практично невичерпними. Крім того, вчений зазначає, що внаслідок ефузії та дифузії вуглеводні можуть розсіюватись у навколишній простір. При цьому темпи видобування нафти і газу значно перевищують темпи їх відновлення.

А. І. Вдовиченко, А. М. Коваль, П. М. Чепіль [2] зазначають про регенерацію покладів нафти і газу на низці родовищ в Україні, в тому числі в Дніпрово-Донецькій западині. На думку вчених щорічно промислові запаси нафти України можуть зростати на 8-12 мільйонів тон умовного палива, в основному за рахунок великих старих родовищ.

Авторами роботи [3] на основі порівняння досліджень стосовно фактичної та розрахункової кількості видобутої продукції робиться висновок про поповнення покладів Бориславської складки шляхом латеральної, а головне, вертикальної міграції флюїдів. Шляхи цього поповнення – розривні порушення та зони тріщинуватості. Крім того, у роботі [4] ці ж автори стверджують, що поклади вуглеводнів можуть формуватись і відносно швидко поповнюватись безпосередньо поблизу від нафтогазопідвідних каналів.

Ю. З. Крупський та В. П. Марусяк у роботі [5] довели, що відновлення покладів нафти і газу є реальним тривалим процесом, при цьому авторами зазначається про те, що вичерпаність підрахованих запасів покладу не може свідчити про виснаження родовища.

Узагальнюючи роботи [1–5] можна стверджувати, що згідно неорганічної теорії походження нафти, утворення пластових флюїдів відбувається на значних глибинах нашої планети. Такі процеси відбуваються постійно, проте проходять дуже повільно внаслідок утруднених шляхів міграції. З підняттям до поверхні температура розігрітої суміші вуглеводнів знижується, відповідно спадають і сили під дією яких відбувається міграція. З наближенням до поверхні зменшується і щільність гірських порід, тому протидія міграції газоподібної суміші знижується також. Внаслідок падіння температури вуглеводні переходять до рідкого стану і ще більше втрачають свою міграційну здатність. Частина газоподібних та твердих вуглеводнів (смоли, асфальтени) розчиняються у рідкій фазі. Інша частина газоподібних вуглеводнів формує газову шапку родовища і, в незначних кількостях продовжує міграцію, аж до поверхні Землі. Внаслідок чого над нафтогазовими родовищами утворюються геохімічні аномалії підвищеного вмісту метану у приповерхневих відкладах.

За відсутності щільного перекриття пластові флюїди можуть мігрувати до вищих шарів гірських порід, продовжуючи при цьому охолоджуватись та осідати у вигляді найбільш важких фракцій, легкі фракції при цьому виходили на денну поверхню та окислювались, як наслідок, відбувається наприклад формування та ущільнення озокеритових покладів. Слід зазначити, що жили озокериту Бориславського родовища є тектонічними порушеннями, що заповнені озокеритом.

Прискорення міграції може відбуватись внаслідок утворення різноманітних геологічних порушень, в тому числі внаслідок тектонічних рухів порід протягом мільйонів років. Прикладом такої прискореної міграції може бути виверження вулканів, під час цього явища вуглеводні, що можуть мігрувати до поверхні згорають. Внаслідок горіння вуглецю та водню виверження вулкану супроводжується викидами значних обсягів диоксиду вуглецю та водяної пари. Багато вчених дотримуються думки, що насичення верхніх шарів атмосфери диоксидом вуглецю та водяною парою в минулому відбувалось саме внаслідок численних вивержень вулканів [6]. Крім того, у роботі [7] вказується, що виділення вуглеводнів відбувається також під час землетрусів, які можна умовно назвати надпотужними сейсморозривами пластів.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. У вищезазначених роботах проблема відновлення нафтогазових родовищ розглядається переважно в контексті пошуків та видобування покладів нафти і газу. Проте, на нашу думку, не менш важливою в цьому плані є екологічна складова процесів відновлення вуглеводнів.

Постановка завдання. Таким чином, важливим завданням постає дослідження впливу на довкілля процесів регенерації вуглеводневих покладів.

Виклад основного матеріалу. З проведеного аналізу досліджень випливає, що процес надходження вуглеводнів до відносно малих глибин є безперервним, при цьому інтенсивність таких надходжень є набагато меншою за інтенсивність відбору флюїдів [1], тобто відбір вуглеводнів стає нерентабельним. За таких умов виникає небезпека міграції пластових флюїдів на денну поверхню, про що описано у роботах [5, 8] у кількостях, що здатні суттєво забруднювати компоненти довкілля та створювати небезпеку виникнення ситуацій техногенного характеру. Шляхами такої міграції можуть бути різноманітні гірничі виробітки (свердловини, шурфи, шахти, тощо) та природні порушення геологічного середовища. Виходячи з цього кожна з пробурених свердловин в перспективі може стати потенційним джерелом забруднення довкілля, ліквідувати яке дуже складно.

Деякі науковці вважають, що ліквідація нафтових і газових свердловин є недопустимою [9], і в подальшому такі свердловини повинні експлуатуватися, проте, на нашу думку, такий варіант розвитку подій є малоімовірним з двох причин:

- по перше, як уже зазначалось, темпи відбору пластових флюїдів багатократно перевищують темпи їх відновлення. Виходячи з цього для промислової експлуатації свердловини повинно пройти, за найбільш сприятливих умов, десятки, а скоріш за все сотні, інколи навіть тисячі років;

- по друге – це «старіння» свердловин, коли відбувається руйнування цементного каменю за колонного простору і обсадних колон, якими вони обладнані. Ця причина вказує на те, що свердловина має певний, порівняно короткий, часовий ресурс і в подальшому її експлуатація з технічних причин буде неможливою.

Виходячи з цього, виведення з експлуатації та/або ліквідації об'єктів нафтогазового комплексу може мати суттєві екологічні наслідки і потребує детального вивчення з точки зору впливу на довкілля. Це дозволить мінімізувати негативні екологічні ризики та розробити заходи та засоби зменшення впливу на довкілля процесів видобування вуглеводнів.

Яскравим прикладом негативного впливу на довкілля є тривала експлуатація Бориславського нафтового родовища і загазованість міста. Джерела надходження вуглеводневих газів у атмосферу на території міста Борислава за своїм генезисом поділяються на дві групи: техногенного походження та природного походження. Принципова схема такого поділу, наведена на рисунку.

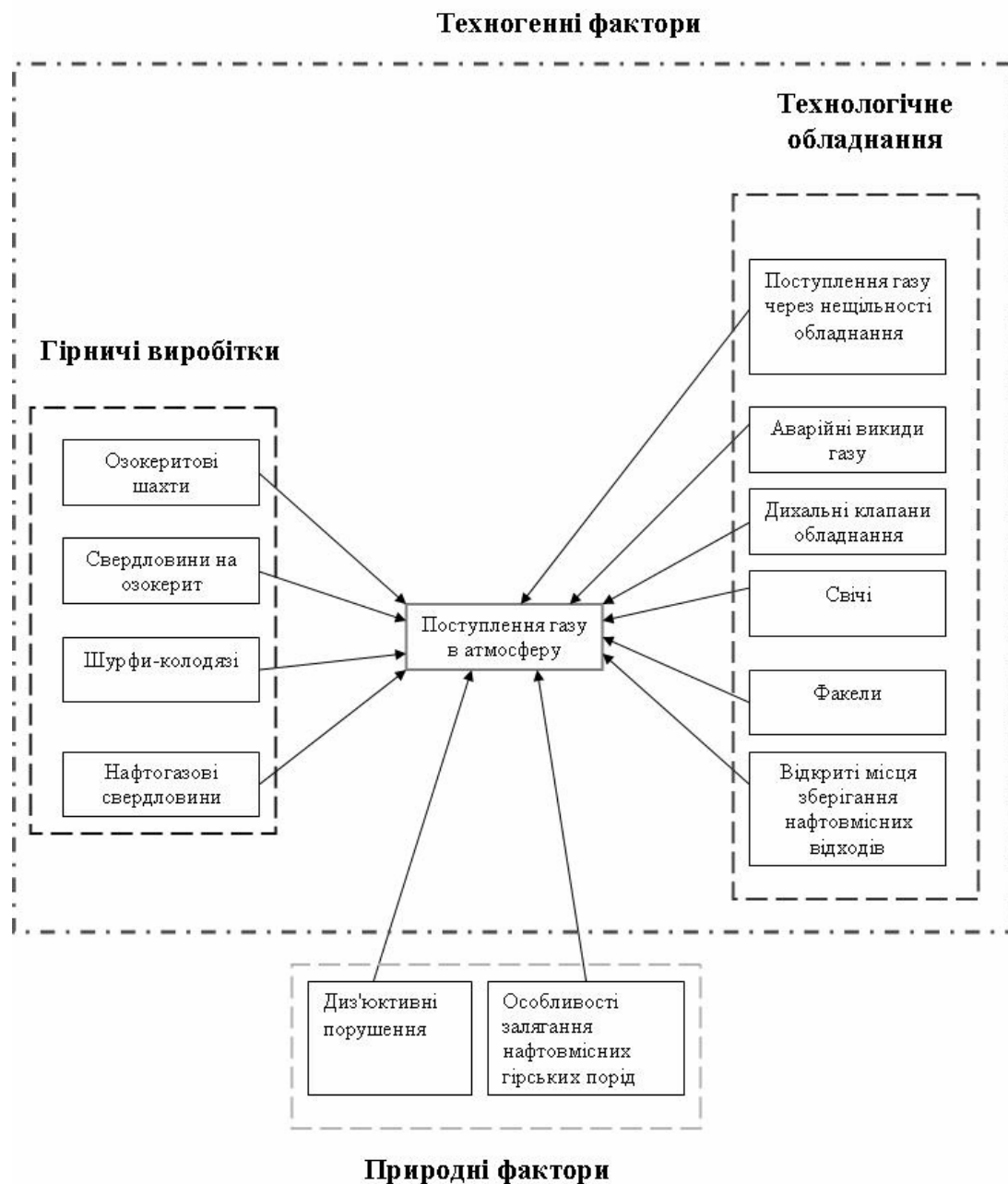


Рис. 1. Схема класифікації джерел надходження вуглеводневих газів у атмосферу

На даний час Бориславське нафтове родовище знаходиться на завершальній стадії розробки. Значна частина свердловин ліквідована або знаходиться в бездії. При цьому переважна більшість свердловин родовища ліквідована з причин значного обводнення продукції або через нерентабельність їх подальшої експлуатації. Крім того, ліквідація свердловин, що розкрили продуктивні поклади на родовищі могла відбуватись через виникнення різного роду аварій, усунення яких було неможливе, так звані ліквідовані свердловини з технічних причин.

На початку розробки Бориславського родовища суть технології ліквідації свердловин зводилась до зрізування гирлового обладнання і засипання глиною експлуатаційної колони та встановленням дерев'яного кілка (чопа) у свердловину чи накриття гирла дерев'яним щитом. Потім почали заварювати гирло. Пізніше встановлювати в експлуатаційній колоні цементні мости в межах від вибою до рівня перекриття інтервалів перфорації продуктивних горизонтів. Інколи встановлювали декілька мостів над інтервалами перфорації і на гирлі свердловини. Виведення свердловин з експлуатації у такий спосіб застосовується на більшості нафтових родовищ.

На наш погляд такий спосіб ліквідації гірничих виробіток забезпечує ізоляцію продуктивних горизонтів лише на, порівняно, короткий термін з наступних причин.

Згідно досліджень авторів [10] на сьогоднішній день загальний видобуток нафти Бориславського родовища сягає 31,92 млн т., при початково підрахованих запасах близько 4 млн т.

Таким чином, через певну кількість років у продуктивних горизонтах, що розкриті "ліквідованою свердловиною" можуть відновлюватися пластові тиски і флюїди у різний спосіб здатні мігрувати на денну поверхню чи здійснювати міжпластові перетоки. Така міграція може відбуватись, як через затрубний простір, так і безпосередньо експлуатаційною колоною свердловини внаслідок порушення зчеплення цементного моста (затрубного цементажу) з колоною, відсутністю цементажу затрубного простору, руйнування цементу, обсадних колон, тощо. Найбільш здатними до такого виду міграції є неглибокі ліквідовані свердловини з незацементованим затрубним простором. Інколи виконавцями порушується технологічна дисципліна і ліквідаційні мости встановлюються з порушенням, зокрема встановлюється тільки один міст вище отворів перфорації, не перевіряється його наявність та міцність. Яскравим свідчення цього був відкритий фонтан мінералізованої води зі свердловини №3-Уріж у 90-х роках минулого століття, через пошкоджену корозією запірну арматуру. У результаті відбулось забруднення ґрунтів, поверхневих і ґрунтових вод.

Крім цього, складна геологічна будова та довготривалий процес розробки нафтових і газових родовищ може призводити до зміни термогідродинамічних параметрів покладів, деформації гірських порід та порушення герметичності свердловин (діючих, ліквідованих, законсервованих), в яких відбуваються зминання, прориви обсадних колон, що знижує обсяги видобування нафти і газу та створює техногенне навантаження на навколишнє середовище.

Порушення експлуатаційних колон пов'язане, перш за все, із структурним положенням неотектонічно-активних розломів і ступенем їхньої активності, котрі обумовлюються сучасними рухами земної кори і викликають незворотні деформації у породах. Результати аналізу геологічної будови свідчать, що осередок активізації деформаційних процесів знаходиться у частині, перекритій Береговим насувом, який відзначається високою тектонічною активністю [11].

Цікавий факт про «злам» стовбура копанки (колодязя) наводиться в роботі піонерів видобутку нафти на теренах Мражниці (м. Борислав) [12]. Деформація стовбура копанки відбувалася не тільки за рахунок зносу нижньої частини, а й, безперечно, за рахунок скручування, причому поверхневий шар залишався без видимих зміщень. Завдяки прямокутному профілю копанки, було зафіксовано кручення приблизно в горизонтальній

площині. На жаль, такої інформації щодо свердловин немає, проте це не виключає відсутності цього виду деформації і у їхніх стовбурах.

Поверхневі зсувні процеси на ділянках розміщення свердловин у Бориславсько-Покутській зоні Карпат пов'язані з наслідками будівництва свердловин і облаштування родовища, розробкою нафтових та газових покладів, а також спровоковані глибинними тектонічними рухами і неотектонічною активністю даної території. На нашу думку та думку інших дослідників [13–15] основною причиною деформації свердловин є розривні порушення різної генези і рангу (насуви, скидозсуви, зони підвищеної тріщинуватості) та границі різкої зміни літологічних і фізико-механічних властивостей. Крім цього, міцність цементного каменю з роками в свердловинах слабшає. Як наслідок, все це може призводити до розгерметизації затрубного простору та міграції пластових флюїдів між пластами та на денну поверхню.

Міжпластові перетоки на родовищах нафти і газу можуть бути небезпечними через загрозу потрапляння до пластів із питними водами вуглеводнів або високомінералізованих вод. Виходячи з того, що гранично-допустима концентрація нафтопродуктів у воді становить лише 0,05 мг/дм³, навіть незначне надходження пластових флюїдів до питного водоносного горизонту, може спричинити до непридатності води для споживання населенням на десятки, а то й сотні років. За умов експлуатації нафтогазового родовища поблизу природно-заповідних зон, родовищ мінеральних вод, тощо, наслідки забруднення можуть набувати ще більших масштабів.

Слід також зазначити, що міграція пластових флюїдів через глибокі гірничі виробітки, зацементовані належним чином, може відбуватися через кілька десятків, навіть сотень років або не відбуватися взагалі.

Висновки. Таким чином, в результаті проведених досліджень обґрунтовано можливість довготривалого впливу на довкілля після завершення розробки нафтогазових родовищ, а також виведення з експлуатації та/або ліквідації об'єктів нафтогазового комплексу. На прикладі Бориславського родовища доведено, що розроблення родовищ на завершальній стадії та виведення їх з розробки може мати суттєві екологічні наслідки і потребує детального вивчення з точки зору впливу на довкілля. Такий факт необхідно враховувати під час проектування розробки родовищ та об'єктів нафтогазової промисловості. Це дозволить мінімізувати негативні екологічні ризики та розробити заходи та засоби зменшення впливу на довкілля процесів видобування вуглеводнів.

Література

- 1 Созанський В.І. Відновлення світових запасів нафти і газу як стратегічна проблема сучасності // Геологічний журнал. – 2013. - №2. - С. 68 – 74.
- 2 Вдовиченко А. І., Коваль А. М., Чепіль П. М. Нарощування видобутку вуглеводнів в Україні за рахунок відновлювальних процесів // Нафтогазова інженерія – 2017. – №. 1. – С. 112-121.
- 3 Кудряшов О. І., Мичак А. Г., Філіпович В. Є. Перспективи нафтогазоносності Бориславського нафтопромислового району за матеріалами космічних досліджень. // Стан, проблеми та перспективи нафтогазової промисловості України: матер. Міжнар. Наук.-практ. Конф. (м. Борислав, 7-9 вересня, 2012 рік). – Л.: Львів політех., 2012. С 53-55.
- 4 Мычак А. Г., Филипович В.Е. Геодинамические аспекты флюидодинамики территорий длительной нефтегазодобычи / А. Г. Мычак, В.Е. Филипович // Материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения академика П.Н. Кропоткина. – 2010. – С. 373–378.
- 5 Крупський Ю. З., Марусяк В. П. Відновлення покладів вуглеводнів та виявлення ліквідованих свердловин з пропущеними продуктивними горизонтами (на прикладі західного НГР) // ScienceRise. – 2015. – Т. 8. – №. 1 (13).
- 6 Липкин А.И., Гороховская Е.А. Концепции современного естествознания ч.2 (Биология и геология) Курс лекций, Москва-Берлин 2015, с. 51
- 7 Михайлов М.И., Капочкин Б.Б., Кучеренко Н.В, Капочкина А.Б. К дискуссии о проблеме возобновляемости ресурсов углеводородного сырья// Матеріали третьої міжнародної науково-

практичної конференції Екологічні проблеми нафтогазового комплексу, НПЦ "Екологія Наука Техніка", Київ-2007, с. 28-30

8 Дригулич П. Г., Пукіш А. В. Проблеми урбанізованих територій під час розробки нафтогазових родовищ (на прикладі міста Борислава) //Нафтогазова галузь України. – 2013. – №. 2. – С. 44-49.

9 Купер І. М. Деякі напрямки стабілізації видобутку нафти в Україні //Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2015. – №. 3. – С. 7-10.

10 Михалевич Л.В. Нафтові вершини Бориславського вуглеводневого басейну [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.wuogp.com.ua/novinu/naftovi-vershini-borislavskogo-vuglevodneвого-baseynu>

11 Redagowal K. Tolwinski. Kopalnie nafty i gazow ziemnych w Polsce / Tom I. Brzezne Karpaty Wschodnie. – Warszawa-Boryslaw-Lwow, 1929, – S. 17-24.

12 Куровець І.М., Грицик І.І., Зубко О.С., Дригулич П.Г. До причин деформації обсадних колон у Бориславсько-Покутській зоні Карпат//Нафтова і газова промисловість.-2012, №1 - С.21-24.

13 Friedl K. Das Erdolgebiet von Mrazniza in Polen. - Petroleum. Jahrg. XXV. Wien, 1929. – S. 21-26.

14 В.Г. Осадчий, В.В. Колодій, О.А. Приходько, І.І. Грицик, В.І. Пуцило, П.Г. Дригулич. Нафтогазовий комплекс та техногенно-екологічна безпека Західних областей України // Проблеми економіки енергії. – Львів: ДУ „Львівська політехніка”, 1999. – С.326–327.

15 В. В. Колодій, О. А. Приходько, П. Г. Дригулич. Техногенно-екологічна безпека експлуатації нафтогазових родовищ // Проблеми економіки енергії. – Львів: ДУ „Львівська політехніка”, 1999. – С. 328–330.

© А. В. Пукіш,
П. Г. Дригулич

*Надійшла до редакції 20 листопада 2017р.
Рекомендував до друку
докт. техн. наук Я. О. Адаменко*

УДК 553.98/504.43:504.4.054

*Д. В. Дядін¹, М. Ю. Журавель², П. В. Клочко²,
М. С. Бориць², В. В. Яременко³*

*¹Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,*

²ТОВ «СВНЦ Інтелект-сервіс ЛТД»

*³Спільне підприємство «Полтавська
газонафтова компанія»*

ОЦІНКА ВПЛИВУ НА ПІДЗЕМНІ ВОДИ НА ДІЛЯНЦІ ПРОВЕДЕННЯ ГІДРОРОЗРИВУ ПЛАСТА

Досліджено стан підземних вод першого від поверхні водоносного горизонту на ділянці проведення гідророзриву пласта (ГРП) у свердловині 103Р Руденківського родовища Східного нафтогазоносного басейну. Спостереження, проведені до і після гідророзриву показали відсутність ознак забруднення ґрунтових вод компонентами рідин ГРП та зворотних вод. Вплив на бучацький водоносний горизонт, з якого відбирали воду для операцій ГРП, визнаний суттєво обмеженим за терміном і величиною відбору наявних запасів.

Ключові слова: гідророзрив пласта, підземні води, забруднення, оцінка впливу, рідини гідророзриву, зворотні води

Shallow groundwater conditions in the vicinity of hydraulic fracturing (HF) operations provided on the well 103R (Rudenkivske field, Eastern oil-gas-bearing basin) have been investigated.

практичної конференції Екологічні проблеми нафтогазового комплексу, НПЦ "Екологія Наука Техніка", Київ-2007, с. 28-30

8 Дригулич П. Г., Пукіш А. В. Проблеми урбанізованих територій під час розробки нафтогазових родовищ (на прикладі міста Борислава) //Нафтогазова галузь України. – 2013. – №. 2. – С. 44-49.

9 Купер І. М. Деякі напрямки стабілізації видобутку нафти в Україні //Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2015. – №. 3. – С. 7-10.

10 Михалевич Л.В. Нафтові вершини Бориславського вуглеводневого басейну [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.wuogp.com.ua/novinu/naftovi-vershini-borislavskogo-vuglevodneвого-baseynu>

11 Redagowal K. Tolwinski. Kopalnie nafty i gazow ziemnych w Polsce / Tom I. Brzezne Karpaty Wschodnie. – Warszawa-Boryslaw-Lwow, 1929, – S. 17-24.

12 Куровець І.М., Грицик І.І., Зубко О.С., Дригулич П.Г. До причин деформації обсадних колон у Бориславсько-Покутській зоні Карпат//Нафтова і газова промисловість.-2012, №1 - С.21-24.

13 Friedl K. Das Erdolgebiet von Mrazniza in Polen. - Petroleum. Jahrg. XXV. Wien, 1929. – S. 21-26.

14 В.Г. Осадчий, В.В. Колодій, О.А. Приходько, І.І. Грицик, В.І. Пуцило, П.Г. Дригулич. Нафтогазовий комплекс та техногенно-екологічна безпека Західних областей України // Проблеми економіки енергії. – Львів: ДУ „Львівська політехніка”, 1999. – С.326–327.

15 В. В. Колодій, О. А. Приходько, П. Г. Дригулич. Техногенно-екологічна безпека експлуатації нафтогазових родовищ // Проблеми економіки енергії. – Львів: ДУ „Львівська політехніка”, 1999. – С. 328–330.

© А. В. Пукіш,
П. Г. Дригулич

*Надійшла до редакції 20 листопада 2017р.
Рекомендував до друку
докт. техн. наук Я. О. Адаменко*

УДК 553.98/504.43:504.4.054

*Д. В. Дядін¹, М. Ю. Журавель², П. В. Клочко²,
М. С. Бориць², В. В. Яременко³*

*¹Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,*

²ТОВ «СВНЦ Інтелект-сервіс ЛТД»

*³Спільне підприємство «Полтавська
газонафтова компанія»*

ОЦІНКА ВПЛИВУ НА ПІДЗЕМНІ ВОДИ НА ДІЛЯНЦІ ПРОВЕДЕННЯ ГІДРОРОЗРИВУ ПЛАСТА

Досліджено стан підземних вод першого від поверхні водоносного горизонту на ділянці проведення гідророзриву пласта (ГРП) у свердловині 103Р Руденківського родовища Східного нафтогазоносного басейну. Спостереження, проведені до і після гідророзриву показали відсутність ознак забруднення ґрунтових вод компонентами рідин ГРП та зворотних вод. Вплив на бучацький водоносний горизонт, з якого відбирали воду для операцій ГРП, визнаний суттєво обмеженим за терміном і величиною відбору наявних запасів.

Ключові слова: гідророзрив пласта, підземні води, забруднення, оцінка впливу, рідини гідророзриву, зворотні води

Shallow groundwater conditions in the vicinity of hydraulic fracturing (HF) operations provided on the well 103R (Rudenkivske field, Eastern oil-gas-bearing basin) have been investigated.

Observations carried out before and after HF procedure have shown no signs of groundwater pollution by the components of HF fluids and flowback water. The impact on the Buchak aquifer, from which water for HF was abstracted, have been estimated as significantly low by the duration and water volumes taken.

Keywords: hydraulic fracturing, groundwater, pollution, impact assessment, hydrofracking fluids, flowback water

Постановка проблеми. Технологія гідророзриву пласта (ГРП) (hydraulic fracturing, fracking) останнім часом набула значного розвитку в нафтогазовидобуванні на суші. Вона є основним методом видобування так званих нетрадиційних типів природного газу (газу сланцевих товщ, газу в ущільнених пісковиках), і також часто використовується для інтенсифікації припливу природного газу з традиційних покладів у разі невисокої проникності газоносних порід-колекторів. Згідно даних Державної служби геології та надр на території України поклади нетрадиційного газу (сланцевих товщ та центрально-басейнового типу) розвідані на 45 родовищах, найкрупнішими з яких є Олеська площа у Західному нафтогазоносному басейні на Прикарпатті та Юзівська площа у Східному нафтогазоносному басейні у Дніпровсько-Донецькій западині [6].

Величини розвіданих запасів нетрадиційних типів природного газу України в офіційних статистичних щорічниках, що складаються Державним науково-виробничим підприємством «Геоінформ України», окремо не наводяться. Різні вітчизняні та зарубіжні експерти оцінюють їх у дуже широкому діапазоні – від 1 до 30 трлн м³, залежно від методів оцінювання [7]. Попри відсутність консенсусу у питанні величини запасів, перспективність нетрадиційних видів газоносних товщ у Західному та Східному нафтогазоносних басейнах доводять у своїх роботах досвідчені українські науковці [1, 9, 15]. Зокрема, сланцеподібні аргіліти, ущільнені алевроліти та пісковики, які є перспективними на пошуки нетрадиційного газу, розвинуті у верхньодевонських та кам'яновугільних товщах у центральній та південно-східній частинах Дніпровсько-Донецької западини [2].

Не дивлячись на перспективність у геологічному відношенні, розвиток видобування нетрадиційного природного газу в Україні наразі зазнає певних обмежень із економічних причин [8] та низької інвестиційної привабливості на фоні військових дій на сході країни. Саме тому, наприклад, були згорнуті проекти освоєння великої Юзівської ділянки компанією Шелл Юкрейн у 2014 році. Тим не менше, застосування гідророзриву пласта як технології інтенсифікації припливу газу до експлуатаційних свердловин здійснювалося і продовжує здійснюватися багатьма видобувними компаніями, що розробляють поклади традиційного типу в ущільнених колекторах [11, 14]. На окремих родовищах доцільним є відновлення старих свердловин, ліквідованих ще за радянських часів з причин невисокої газовіддачі, та повернення до їх експлуатації методом гідророзриву. Важливо підкреслити, що у цих випадках технологія ГРП не передбачає буріння довгих горизонтальних стовбурів довжиною до 2000 м, як це відбувається під час розробки сланцевого газу. Операції ГРП відбуваються у вертикальній частині стовбуру свердловини або у похило-спрямованій його частині довжиною десятки метрів, іноді перші сотні м. Це передбачає помітно нижчі робочі тиски, менші об'єми використання технологічних рідин ГРП, пропантів та води для досягнення бажаного результату. У Східному басейні глибини залягання таких покладів становлять 3000–4000 м. Звичайно, що за таких умов масштаби потенційного впливу на навколишнє середовище та ризики забруднення водоносних горизонтів у зоні вільного водообміну мають бути значно меншими у порівнянні з ділянками видобування сланцевого газу.

У будь-якому випадку операції ГРП є потенційно небезпечними для навколишнього середовища та потребують всебічної оцінки впливу на компоненти довкілля і визначення можливих наслідків цього впливу. Як свідчить світова практика, використання ГРП для видобування сланцевого газу у деяких країнах викликає серйозне

занепокоєння та опір з боку суспільства, а іноді і заборону з причин можливого негативного впливу на довкілля [21, 24].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На цьому фоні останніми роками проводиться багато досліджень впливу на довкілля процесів ГРП під час видобування сланцевого газу, насамперед на території США [23]. Основними аспектами, що досліджуються, є забруднення підземних і поверхневих вод внаслідок витоків робочих рідин ГРП та зворотних вод, які повертаються на поверхню землі на стадії завершення ГРП. Останні є зазвичай високомінералізованими флюїдами з мінералізацією від 60 до 250 мг/л, які фактично є сумішшю пластових вод продуктивних горизонтів та рідин ГРП із відповідними хімічними реагентами. Найбільш типовими компонентами-забрудниками у складі рідин ГРП виступають біоциди (альдегіди), гуарова камедь, складні сполуки натрію, поверхнево-активні речовини тощо, а у складі зворотних вод присутні компоненти пластових вод (хлориди, натрій, бром, бор, стронцій) у високих концентраціях [18, 25]. Багато дослідників наголошують на проблемі збереження водних ресурсів, оскільки виконання ГРП потребує значних об'ємів прісної води – від 1000 до 26000 м³ на свердловину залежно від геологічних умов та технологічних показників видобутку [19, 23, 25].

Найближчі до України приклади зі схожими умовами геологічної будови та нафтогазоносності можна зустріти у Польщі, де останніми роками освоюються Балтійський та Люблінський басейни сланцевого газу на північному сході країни [20]. На одному з родовищ у Померанії, де здійснювався ГРП у свердловинах на глибині близько 4000 м з довжиною горизонтального стовбуру до 1000 м, проводили моніторинг підземних вод першого від поверхні водоносного горизонту, який не виявив впливу на рівні води та її хімічний склад [22]. Щоправда, спостережні свердловини у цьому дослідженні розташовувалися на значній відстані – не менше 500 м від майданчика ГРП, що ускладнює оперативне виявлення забруднення ґрунтових вод, якщо таке відбувалося.

Провідні українські експерти у сфері охорони довкілля та нафтогазовидобування звісно також занепокоєні ризиками, що виникають під час видобування нетрадиційних вуглеводнів. З огляду на існуючі перспективи розвитку цієї галузі в Україні, ціла низка фахівців у своїх роботах висвітлює різні аспекти впливу на довкілля видобування нетрадиційного, у тому числі сланцевого, газу в Західному (Карпатському) та Східному (Дніпровсько-Донецькому) басейнах [1, 12, 17]. Серед цих аспектів найчастіше обговорюються ризики поступового забруднення питних водоносних горизонтів, що залягають вище зон гідророзриву через проникні зони у геологічній товщі. Наприклад, у межах Юзівської площі в Харківській області доводиться наявність зон підвищеної тріщинуватості у вигляді сітки розломів, якими можуть мігрувати рідини ГРП вгору за розрізом [16]. Орієнтовний час висхідної міграції рідин ГРП по відносно проникних тектонічних зонах може сягати від перших років до десятків років, а крізь суцільний породний масив – від десятків до сотень років, що може призвести до довготривалого забруднення підземних вод зон уповільненого та активного водообміну [10].

При цьому, слід визнати, що більшість з опублікованих вітчизняних робіт містить лише загальні огляди можливих джерел і шляхів забруднення довкілля, а також теоретичний аналіз ризиків від видобування нетрадиційного газу. У цих питаннях бракує практичного досвіду в проведенні оцінки впливу від операцій ГРП на стан природних вод, ґрунтів та інших компонентів довкілля, у виборі індикаторів забруднення та визначенні регламенту проведення спостережень. При цьому, особливої уваги потребують наземні об'єкти на майданчику ГРП як джерела забруднення неглибоких водоносних горизонтів у разі ненадійної гідроізоляції амбарів та ємностей для приготування рідин ГРП, недбалого поводження з хімічними реагентами на майданчику. Саме на такі джерела впливу були спрямовані дослідження, результати яких представлені у цій роботі.

Мета і завдання досліджень. Метою досліджень було оцінити вплив операцій гідророзриву пласта на стан і якість підземних вод першого від поверхні водоносного

горизонту (грунтових вод) та водоносного горизонту, з якого відбиралася вода для ГРП, на прикладі свердловини № 103Р Руденківського родовища.

Завдання, що поставлені у дослідженні:

- проаналізувати хімічний склад та ступінь екологічної небезпеки рідин ГРП та зворотних вод, що повертаються зі свердловини під час операцій ГРП;
- визначити компоненти флюїдів ГРП, які доцільно використовувати як показники забруднення для екологічного моніторингу;
- провести спостереження за станом підземних вод першого від поверхні четвертинного водоносного горизонту та буцацького горизонту, з якого відбиралася вода для ГРП, та оцінити наявність змін після проведення ГРП;
- зробити висновки щодо наявності впливу від проведених операцій ГРП на стан і якість підземних вод на території досліджень.

Виклад основного матеріалу. Об'єктом досліджень виступала ділянка свердловини 103Р Руденківського нафтогазоконденсатного родовища у Полтавській області, на якій здійснювалася операція ГРП з червня по серпень 2013 року. Свердловиною розкрито продуктивний горизонт в девонських пісковиках в інтервалі 3600–4000 м. Глибина свердловини по стовбуру з урахуванням відхилення від устя становить 4641 м. Операції ГРП здійснювалися у 10 етапів у похило-спрямованій частині стовбуру довжиною близько 900 м.

Потенційно небезпечними з точки зору забруднення підземних вод технологічними об'єктами на майданчику проведення ГРП загальною площею 6 га виступали: ділянка складування хімреагентів, 4 гідроізольовані поліетиленовою плівкою амбари по 460 м³ для приймання та тимчасового зберігання флюїдів при випробуванні свердловини, 3 гідроізольовані шламові амбари по 300 м³ для збору піску і шламу, факельний амбар об'ємом 200 м³, ділянки зберігання сипучих хімічних реагентів.

Для оцінки впливу на підземні води від наземних об'єктів на майданчику ГРП були споруджені дві спостережні свердловини №21 і 22 глибиною 14 м кожна безпосередньо під обвалуванням майданчику на відстані 10–30 м від джерел забруднення, розташованих на майданчику. Крім того, до досліджень була залучена спостережна свердловина №18 із режимної мережі моніторингу на родовищі, в якій відбувається регулярний щоквартальний відбір проб з 2010 року. Ця свердловина розташована у руслі локального басейну стоку нижче майданчика ГРП за потоком ґрунтових вод на відстані 150 м (рис. 1).

Спостережними свердловинами був розкритий перший від поверхні безнапірний водоносний горизонт у четвертинних суглинках та супісках на глибині 4–5 м, напрямки потоку якого фактично визначаються рельєфом та збігаються з напрямками поверхневого стоку. Виходячи з абсолютних відміток рівнів ґрунтових вод у свердловинах, основні напрямки потоку спрямовані на схід, південний-схід та південь від майданчика ГРП, а градієнти потоку ґрунтових вод становлять 0,008–0,01.

Основним джерелом водопостачання під час ГРП на свердловині №103Р були дві водозабірні свердловини № 293 і № 294 (див. рис. 1), що експлуатували підземні води буцацького водоносного горизонту у пісках костянецької світи еоцену на глибині 100 м. Протягом повного комплексу робіт з ГРП в період за три місяці було відібрано 7330 м³ води, з яких безпосередньо для приготування рідин ГРП використано 4500 м³, а решта – на обслуговування обладнання на поверхні та господарсько-побутові потреби. Відпрацьовані розчини ГРП у суміші з пластовими водами (зворотні води) після обробки на установці підготовки вод прямували до скидної свердловини, де закачувалися до тріасового горизонту за технологією утилізації звичайних супутніх пластових вод, яка використовується на родовищі.

Територія навколо майданчика ГРП представлена сільськогосподарськими угіддями, а найближча житлова забудова сільського типу розташована на захід та північ від майданчика на відстані 1200 м (див. рис. 1). У більшості населених пунктів прилеглої території організовано централізоване водопостачання з водозабірних свердловин, що

видобувають підземну воду також із бучацького водоносного горизонту на глибині 100 м. Крім цього, місцеві мешканці повсюдно користуються приватними колодзями та неглибокими свердловинами на ґрунтові води для потреб підсобного господарства.

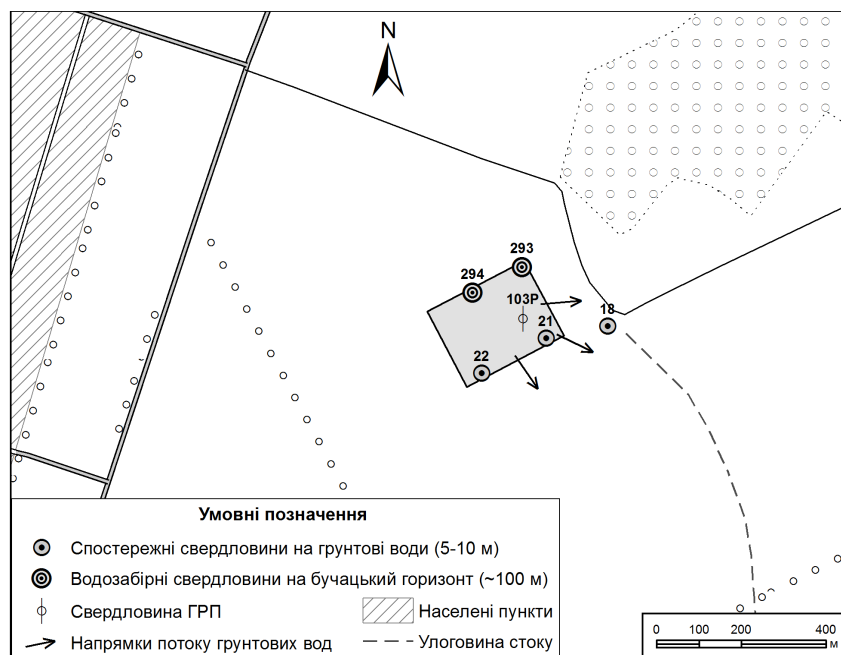
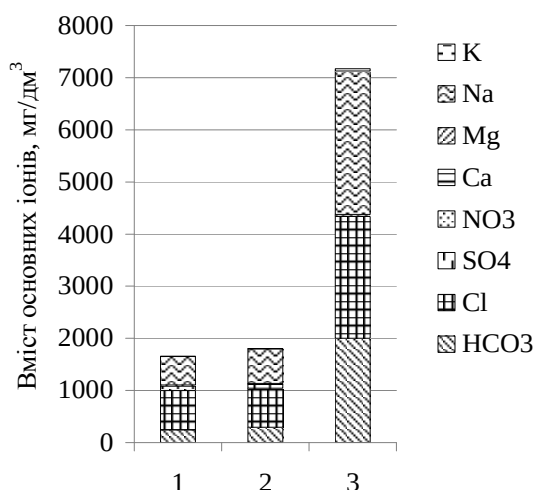


Рис. 1. Схема розташування майданчика ГРП та спостережних свердловин

У даному дослідженні використано дані, отримані авторами під час екологічного моніторингу, що проводився на території діяльності СП ПГНК на постійній основі компанією ТОВ «СВНЦ Інтелект-сервіс ЛТД». Польові вимірювання фізико-хімічних показників підземних вод (температури, електропровідності, рН та окислювально-відновного потенціалу) здійснювалися *in situ* з використанням портативних приладів Hanna Instruments 98121, 98130. Прокачування спостережних свердловин і відбирання проб підземних вод здійснювалися відповідно вимог ДСТУ 5667-11:2005 [4]. Лабораторні дослідження вмісту розчинених солей у підземних водах виконувалися в атестованій лабораторії Науково-технологічного комплексу «Інститут Монокристалів» (м. Харків) за стандартними методиками.

Для з'ясування складу забрудників, що можуть потрапляти до підземних вод, були проаналізовані складові розчинів ГРП. Фактично, розчини ГРП є сумішшю води (92–95 %), піску та пропанту (4–7 %) і хімічних реагентів (~1 %). Хімічний склад підземної води бучацького водоносного горизонту, яка використовувалася для приготування рідин ГРП, є хлоридним натрієвим з мінералізацією близько 2000 мг/дм³, дуже низьким вмістом кальцію і магнію (загальна жорсткість – 1–1,5 мг/дм³) і слаболужними умовами (рН – 8,0–8,5). За територією досліджень такий саме склад фіксується і в інших водозабірних свердловинах, що експлуатують бучацький горизонт у населених пунктах та на промислових об'єктах [5]. Робоча рідина ГРП характеризується також хлоридним натрієвим складом, але з помітно вищою мінералізацією – до 7000 мг/дм³ і більш високим рН – до 9,5 за рахунок додавання хімічних реагентів. Із інших компонентів, що досліджувалися у складі вод, у рідині ГРП помітно підвищуються концентрації калію та стронцію у порівнянні з вихідною водою (рис. 2).

Для виявлення безпосереднього впливу на стан ґрунтових вод від наземних споруд на майданчику ГРП проби зі спостережних свердловин відбиралися до проведення операцій ГРП (у лютому-травні 2013 р.), під час (у липні 2013 р.) та після їхнього завершення (у вересні-жовтні 2013 р.). По закінченню всіх технологічних робіт спостережні свердловини на майданчику були ліквідовані, оскільки площа майданчика планово скорочувалася та підлягала рекультивції. У свердловині №18 з режимної мережі моніторингу спостереження продовжувалися і в наступні роки.



№	Вміст другорядних і мікрокомпонентів у воді, мг/дм³				pH
	NO ₃	K	Sr	Li	
1	2,5	5,2	0,25	0,02	8,22
2	1,17	8,0	0,76	0,021	8,93
3	0,5	43,0	5,0	0,008	9,48
ГДК [3]	50	–	7,0	0,03	6,5–8,5

1 – водозабір на свердловина на бучацький горизонт у найближчому населеному пункті (1500 м від майданчику ГРП);
 2 – водозабірні свердловини на бучацький горизонт на майданчику ГРП;
 3 – робоча рідина ГРП

Рис. 2. Порівняння хімічного складу робочої рідини ГРП та підземних вод

Аналіз вмісту основних індикаторів забруднення від рідин ГРП – хлоридів, натрію, калію і стронцію – показав, що під час проведення операцій ГРП та протягом трьох місяців після їх завершення не виявлено ознак витоків технологічних рідин та забруднення ними першого від поверхні водоносного горизонту. Свердловина №22 на майданчику ГРП характеризувалася підвищеними концентраціями хлоридів і натрію (на рівні 1–2 ГДК для питних вод), але такі ж рівні цих іонів спостерігалися в ній і до початку операцій ГРП. Зважаючи на те, що в цій свердловині також постійно фіксувалися підвищені концентрації сульфатів і нітратів протягом всіх спостережень, можливим є вплив сторонніх джерел забруднення ґрунтових вод на цій ділянці, з боку населених пунктів. Всі чотири компоненти (Cl^- , Na^+ , K^+ , Sr^{2+}) у свердловинах після завершення ГРП залишилися на тих же рівнях, на яких перебували до його початку (рис. 3).

Динаміка змін досліджених показників у свердловині №18, що розташована на відстані 150 м від майданчика ГРП, також вказує на відсутність будь-яких помітних зростань концентрацій, навіть протягом наступних двох років (рис. 4).

Іншим об'єктом наших досліджень виступила ділянка скидання зворотних вод ГРП у надра через поглинальну свердловину, розташована на відстані 8400 м від майданчика ГРП. Біля устя поглинальної свердловини, де можливі витoki зворотних вод, також контролювався стан першого від поверхні водоносного горизонту на глибині 17 м від поверхні землі у спостережній свердловині (рис. 5).

Аналогічно результатам, отриманим по свердловинам на майданчику ГРП, на цій ділянці не виявлено будь-яких підвищень вмісту досліджених показників за весь період спостережень. Деякі окремі коливання вмісту калію у підземних водах цілком ймовірно пов'язані із впливом сільськогосподарської діяльності, яка здійснюється на прилеглий території, зокрема внесення мінеральних добрив. Відсутність будь-яких помітних зростань у концентраціях всіх показників свідчить про відсутність витоків рідин, що закачувалися у глибокі горизонти.

У нашій роботі не оцінювалися ризики потрапляння рідин ГРП із зони гідророзриву до водоносних шарів, що залягають вище за розрізом. Перекритість горизонту гідророзриву потужною 3500-метровою товщею перешарування осадових порід, унеможливує пряму висхідну фільтрацію рідин гідророзриву або супутніх пластових вод до глибин розташування питних водоносних горизонтів палеогену в 0–200 м від поверхні землі. Навіть за умов наявності у розрізі зон підвищеної проникності, обумовлених розломами, швидкості висхідної фільтрації становитимуть десятки і сотні років [10, 16, 17], але ознаки таких довгострокових змін неможливо відстежити протягом наших короткочасних спостережень.

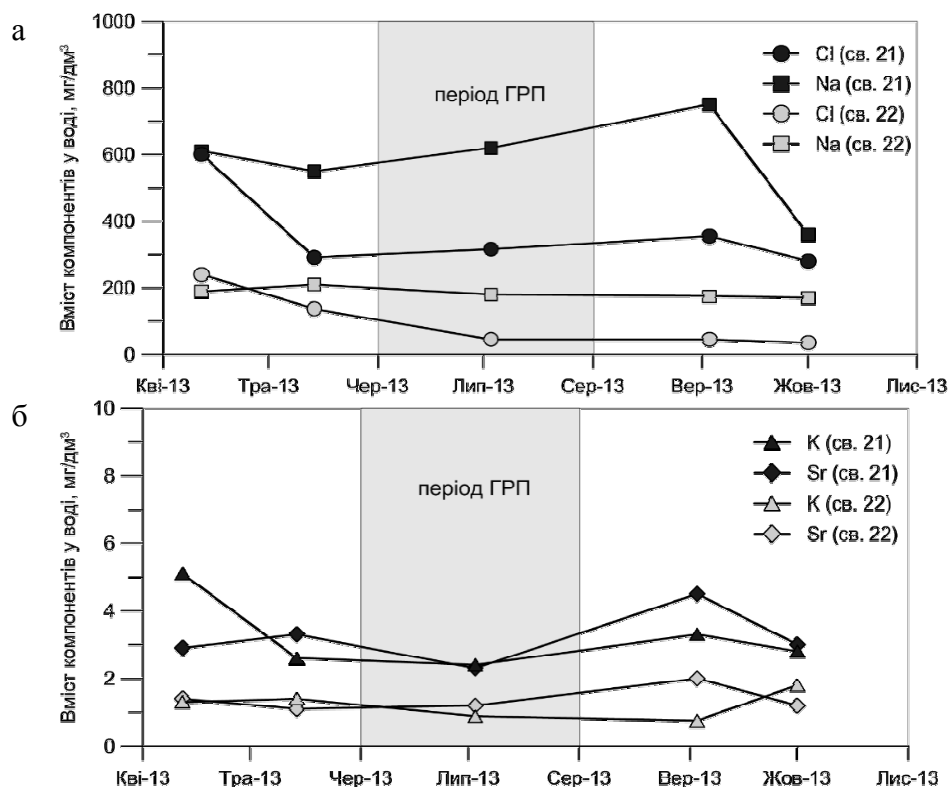


Рис. 3. Вміст окремих компонентів у ґрунтових водах зі спостережних свердловин на майданчику ГРП (а – хлориди та натрій, б – калій та стронцій)

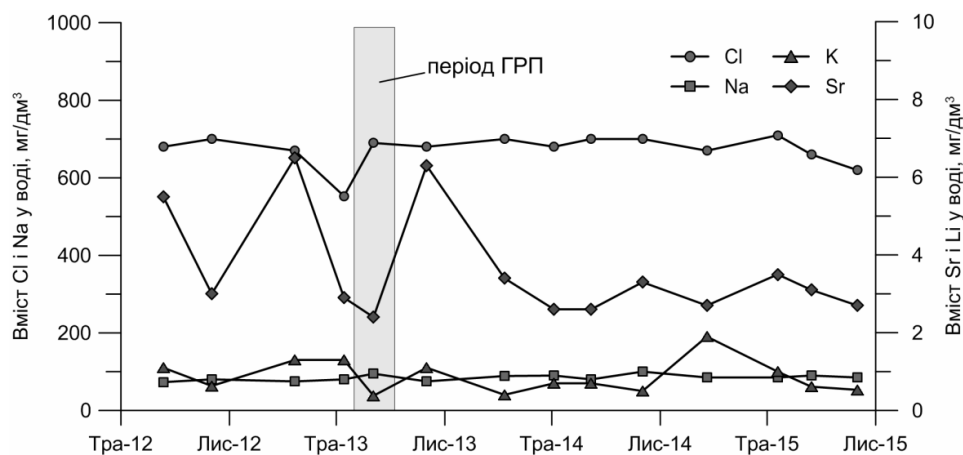


Рис. 4. Вміст окремих компонентів у ґрунтових водах зі спостережної свердловини, розташованій на 150 м нижче за потоком ґрунтових вод від майданчика ГРП

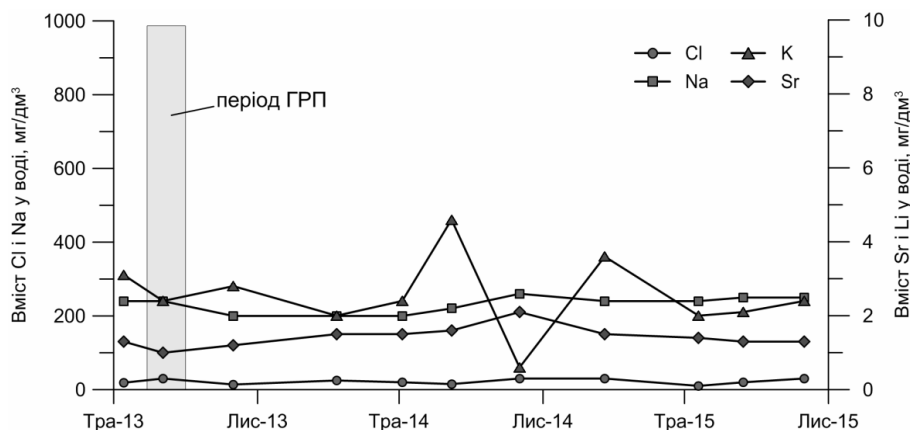


Рис. 5. Вміст досліджених компонентів у спостережній свердловині на ділянці скидання зворотних вод ГРП у поглинальну свердловину

Досліджені ділянки підземних вод бучацького горизонту належать до Кобеляцького родовища підземних вод, затверджені запаси по якому становлять 12 тис. м³/добу, з яких на категорію А припадає 7,2 тис. м³/добу. Цей горизонт повсюдно експлуатується водозабірними свердловинами централізованого водопостачання в населених пунктах. Для оцінки можливого впливу на гідродинамічний режим горизонту внаслідок відбирання води на потреби ГРП ми визначили зниження рівня напору у пласті (глибина депресійної воронки) та зниження рівня води в свердловинах за формулою Тейса-Джейкоба:

$$S = \frac{Q}{4\pi km} \ln \frac{2,25at}{r^2},$$

де S – зниження рівня (м); Q – дебіт свердловини (м³/добу); k , m , a – коефіцієнт фільтрації (м/добу), товщина (м), коефіцієнт п'єзопровідності (м²/добу) водоносного горизонту; r – радіус експлуатаційної колони свердловини (м), t – розрахунковий час експлуатації свердловини.

За період проведення ГРП (69 діб) усереднений дебіт водозабірних свердловин на майданчику ГРП становив 106 м³/добу, що призвело, згідно розрахунків, до зниження у стовбурі свердловини всього на 3,9 м та глибини депресійної воронки у пласті не більше 1,1 м (табл. 1).

Таблиця 1

Гідродинамічні показники відбору підземних вод із бучацького горизонту

Водозабір	К-сть свердловин	Сумарний дебіт, м ³ /добу	Зниження рівня у свердловині, м	Глибина депресійної воронки	% запасів горизонту
Св-на 103Р для ГРП	2	106	3,9	1,1	0,88
Драбинівський	2	102	11	1,1	0,85
Соколовобалківський	6	425	11–23	4,5	3,54
Царичанський	19	860	17	9	7,17
Кобеляцький	10	1520	32	15,9	12,7

Відбір підземних вод при виконанні ГРП становив 0,88% від затверджених експлуатаційних запасів Кобеляцького родовища. Повне відновлення рівнів підземних вод і запасів використаної води для ГРП відбулося у пласті відразу після припинення роботи водозабору. Для порівняння ми оцінили такі ж показники для групових водозаборів у населених пунктах, розташованих на території району, за даними Облікових карток експлуатаційних свердловин Державного водного кадастру підземних вод (див. табл.). Результати оцінки свідчать, що в даних гідрогеологічних умовах групові водозабори населених пунктів району, які працюють у межах дозволених паспортних лімітів водовідбору, створюють значно помітніші впливи на зниження п'єзометричних рівнів бучацького горизонту.

Висновки та перспективи досліджень. Дослідження на ділянці свердловині 103Р Руденківського родовища при виконанні ГРП у 2013 році, показали відсутність ознак забруднення першого від поверхні четвертинного горизонту такими компонентами рідин ГРП, як хлориди, натрій, калій та стронцій. Встановлено, що тимчасовий вплив на гідродинамічний режим бучацького водоносного горизонту та величину його запасів від забору води для потреб ГРП був мінімальним.

Враховуючи, що ГРП як метод інтенсифікації дебіту свердловин останнім часом значно поширюється для розробки покладів газу традиційного типу, проведений комплекс досліджень є цілком актуальним для запровадження на інших родовищах України. Він має бути доповнений оцінкою впливу ГРП на більш глибокі водоносні горизонти, яка потребує більш складних та довгострокових досліджень.

Література

- 1 Боднарчук В. С. Перспективи пошуків та розвідки газу з нетрадиційних колекторів у Західному бітумонафтогазоносному регіоні України. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2013. № 1. С. 22–36.
- 2 Вакарчук С. Г., Довжок Т. Є., Філюшкін К. К., Вертюх А. М. Стратиграфічна приуроченість, літологічна характеристика та територіальна поширеність осадових відкладів палеозою, перспективних на пошуки газу нетрадиційного типу у Східному регіоні України. *Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України*. 2012. Вип. 5. С. 174–178.
- 3 Державні санітарні норми та правила 2.2.4-171-10 «Санітарно-гігієнічні вимоги до води питної»: від 12.05.2010 р. № 400. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10> (дата звернення: 15.11.2017).
- 4 ДСТУ ISO 5667-11:2005. Якість води. Відбирання проб. Частина 11. Настанови щодо відбирання проб підземних вод (ISO 5667-11:1993, IDT). [Чинний від 2006-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2006. 15 с.
- 5 Дядин Д. В., Клочко П. В., Голик Ю. С., Яременко В. В. Организация мониторинга подземных вод на территории деятельности СП «Полтавская газонефтяная компания» (Полтавская область, Украина): *Современные научные исследования: инновации и опыт*: материалы XVII-XVIII междунар. научн.-практ. конф., (г. Екатеринбург, Россия, 04–05 декабря 2015 г.). Екатеринбург, 2015. С. 11–17.
- 6 Інтерактивна карта ділянок надр, на які надані спецдозволи на користування надрами. *Державне науково-виробниче підприємство «Геоінформ України»*. URL: <http://geoinf.kiev.ua/wp/interaktyvni-karty-spetsdozvoliv.htm> (дата звернення 12.11.2017).
- 7 Кизим М. О., Лелюк О. В., Черкаський І. Б. Методичні положення з оцінки перспективи видобутку нетрадиційного природного газу в Україні. *Проблеми економіки*. 2013. № 4. С. 21–33.
- 8 Кизим Н. А., Салашенко Т. И., Борщ Л. М. Перспективы укрепления энергетической безопасности Украины путем развития нетрадиционной газодобычи. *Проблемы экономики*. 2016. № 2. С. 34–43.
- 9 Лукин А. Е. Перспективы сланцевой газоносности Днепроовско-Донецкого авлакогена. *Геологічний журнал*. 2009. № 1. С. 21–41.
- 10 Лялько В. І., Азімов О. Т., Яковлев Є. О. Прогнозне оцінювання потенційного забруднення підземної гідросфери у зв'язку з видобутком нетрадиційних вуглеводнів (з використанням дистанційних даних). *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2017. № 14. С. 12–16.
- 11 ПАТ «Укргазвидобування». Офіційний веб-сайт. URL: <http://ugv.com.ua/> (дата звернення 13.11.2017).
- 12 Римар М. В., Краєвська А. С., Дулин І. С. Екологічна безпека видобування сланцевого газу в Україні. *Регіональна економіка*. 2012. №4. С. 109–114.
- 13 Рудько Г. І., Савлущинський О. М. Екологічна безпека навколишнього середовища на різних стадіях освоєння родовищ сланцевого газу: *Екогеофорум-2017. Актуальні проблеми та інновації*: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (м. Івано-Франківськ, 22–25 березня 2017 р.). Івано-Франківськ, 2017. С. 203–205.
- 14 СП Полтавська газонафтова компанія. Офіційний веб-сайт. URL: <http://www.ppc.net.ua/uk/> (дата звернення 13.11.2017).
- 15 Терещенко В. А. Перспективы освоения нетрадиционного газа на разрабатываемых месторождениях Днепроовско-Донецкой впадины. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна*. 2013. № 1049, вип. 38. С. 68–72.
- 16 Яковлев В. В., Ананьев С. Н. Глобальная трещиноватость Юзовской площади и ее гидрогеологическое значение. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна*. Харків, 2013. № 1084, Вип. 39. С. 246–254.
- 17 Яковлев Є. О. Визначальні еколого-геологічні ризики впливу видобутку сланцевого газу в нафтогазоносних басейнах України. *Мінеральні ресурси України*. 2014. № 2. С. 34–43.
- 18 He Y., Flynn S., Folkerts E., Zhang Y., Ruan D., Alessi D., Martin J., Goss G. Chemical and toxicological characterizations of hydraulic fracturing flowback and produced water. *Water Research*. 2017. No. 114. P. 78–87.
- 19 Kondash A., Albright E., Vengosh A. Quantity of flowback and produced waters from unconventional oil and gas exploration. *Science of the Total Environment*. 2017. No. 574. P. 314–321.

- 20 Koop W. Frack EU: Unconventional intrigue in Poland. A preliminary investigation of the fracking assault in Poland. B. C. Tap Water Alliance, Vancouver, British Columbia, 2012. 61 p.
- 21 Kreuze A., Schelly C., Norman E. To frack or not to frack: Perceptions of the risks and opportunities of high-volume hydraulic fracturing in the United States. *Energy Research & Social Science*. 2016. No. 20. P. 45–54.
- 22 Montcoudiol N., Isherwood C. Gunning A., Kelly T., Younger P. Shale gas impacts on groundwater resources: Understanding the behavior of a shallow aquifer around a fracking site in Poland. *Energy Procedia*. 2017. No.125. P. 106–115.
- 23 Scotchman I. Shale gas and fracking: exploration for unconventional hydrocarbons. *Proceedings of the Geologists' Association*. 2016. No. 127. P. 535–551.
- 24 Shale gas extraction in the UK: a review of hydraulic fracturing. The Royal Society, The Royal Academy of Engineering, 2012. 76 p.
- 25 Vengosh A., Kondash A., Harkness J., Lauer N., Warner N., Darrah T. The geochemistry of hydraulic fracturing fluids. *Procedia Earth and Planetary Science*. 2017. No. 17. P. 21–24.

© Д. В. Дядін,
М. Ю. Журавель,
П. В. Ключко,
М. С. Борщ,
В. В. Яременко

*Надійшла до редакції 2 листопада 2017 р.
Рекомендував до друку
докт. техн. наук Я. О. Адаменко*

УДК 504.05::551.4:911.2

Х. Б. Караванович
*Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

ЛАНДШАФТНІ ДОСЛІДЖЕННЯ У ЗОНІ ВПЛИВУ БИТКІВСЬКОГО НАФТОПРОМИСТУ

Ландшафтні дослідження на території Битківського низькогір'я Карпат дозволили побудувати карту ландшафтної структури у зоні впливу Битківського нафтопромислу. Виділені ландшафтні місцевості – денудаційні релікти пенепленізованих поверхонь вирівнювання, педіменти передгірського рельєфу, глибоко розчленовані крутосхили та фації ступінчастих сходинок шести надзаплавних терас і двох заплавних терас. Взаємний аналіз ландшафтів та техногенного навантаження від нафтогазовидобування стане основою для розробки довгострокових та термінових заходів захисту довкілля на території нафтогазовидобувного комплексу.

Ключові слова: ландшафти, місцевості, фації, нафтогазовидобуток, екологічна ситуація, екологічний стан, Битківське низькогір'я.

Landscape surveys on the territory of Bitkovsky lowland of the Carpathians allowed to construct a map of the landscape structure in the area of influence of the Bitkovsky oil field. Dedicated landscapes - denudation relics of the peneplised surfaces of leveling, pediments of foothill terrain, deeply dissected steep slopes and facies of stepped steps of six floodplain terraces and two floodplain terraces. Mutual analysis of landscapes and technogenic loading from oil and gas production will form the basis for developing long-term and urgent environmental protection measures in the oil and gas complex.

Key words: landscapes, terrain, facies, oil and gas production, ecological situation, ecological state, Bitkivsk lowlands.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими або практичними завданнями. Екологічно безпечне нафтогазовидобування

- 20 Koop W. Frack EU: Unconventional intrigue in Poland. A preliminary investigation of the fracking assault in Poland. B. C. Tap Water Alliance, Vancouver, British Columbia, 2012. 61 p.
- 21 Kreuze A., Schelly C., Norman E. To frack or not to frack: Perceptions of the risks and opportunities of high-volume hydraulic fracturing in the United States. *Energy Research & Social Science*. 2016. No. 20. P. 45–54.
- 22 Montcoudiol N., Isherwood C. Gunning A., Kelly T., Younger P. Shale gas impacts on groundwater resources: Understanding the behavior of a shallow aquifer around a fracking site in Poland. *Energy Procedia*. 2017. No.125. P. 106–115.
- 23 Scotchman I. Shale gas and fracking: exploration for unconventional hydrocarbons. *Proceedings of the Geologists' Association*. 2016. No. 127. P. 535–551.
- 24 Shale gas extraction in the UK: a review of hydraulic fracturing. The Royal Society, The Royal Academy of Engineering, 2012. 76 p.
- 25 Vengosh A., Kondash A., Harkness J., Lauer N., Warner N., Darrah T. The geochemistry of hydraulic fracturing fluids. *Procedia Earth and Planetary Science*. 2017. No. 17. P. 21–24.

© Д. В. Дядін,
М. Ю. Журавель,
П. В. Ключко,
М. С. Борщ,
В. В. Яременко

*Надійшла до редакції 2 листопада 2017 р.
Рекомендував до друку
докт. техн. наук Я. О. Адаменко*

УДК 504.05::551.4:911.2

Х. Б. Караванович
*Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

ЛАНДШАФТНІ ДОСЛІДЖЕННЯ У ЗОНІ ВПЛИВУ БИТКІВСЬКОГО НАФТОПРОМИСТУ

Ландшафтні дослідження на території Битківського низькогір'я Карпат дозволили побудувати карту ландшафтної структури у зоні впливу Битківського нафтопромислу. Виділені ландшафтні місцевості – денудаційні релікти пенепленізованих поверхонь вирівнювання, педіменти передгірського рельєфу, глибоко розчленовані крутосхили та фації ступінчастих сходинок шести надзаплавних терас і двох заплавних терас. Взаємний аналіз ландшафтів та техногенного навантаження від нафтогазовидобування стане основою для розробки довгострокових та термінових заходів захисту довкілля на території нафтогазовидобувного комплексу.

Ключові слова: ландшафти, місцевості, фації, нафтогазовидобуток, екологічна ситуація, екологічний стан, Битківське низькогір'я.

Landscape surveys on the territory of Bitkovsky lowland of the Carpathians allowed to construct a map of the landscape structure in the area of influence of the Bitkovsky oil field. Dedicated landscapes - denudation relics of the peneplised surfaces of leveling, pediments of foothill terrain, deeply dissected steep slopes and facies of stepped steps of six floodplain terraces and two floodplain terraces. Mutual analysis of landscapes and technogenic loading from oil and gas production will form the basis for developing long-term and urgent environmental protection measures in the oil and gas complex.

Key words: landscapes, terrain, facies, oil and gas production, ecological situation, ecological state, Bitkivsk lowlands.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими або практичними завданнями. Екологічно безпечне нафтогазовидобування

вимагає постійного контролю за розвитком екологічної ситуації, якою необхідно керувати, виходячи із існуючих природоохоронних вимог та відповідних директивних документів: екологічного аудиту, оцінки впливів на навколишнє середовище, моніторингу довкілля, стратегічної екологічної оцінки та ін. Для цього потрібні якісні екологічні карти, що відображають як природний стан геосистем, так і техногенне навантаження на них. Природний стан характеризують ландшафти, яким і присвячена дана робота. Дослідження ландшафтів у районах нафтогазовидобутку є важливим науковим і практичним завданням яку автор разом з іншими колегами кафедри екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу вирішує в межах комплексної цільової програми «Науково-організаційні засади нарощування видобутку вітчизняних нафти і газу та диверсифікації постачання енергетичних ресурсів для підвищення енергетичної безпеки України».

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми, на які спирається автор. Ландшафтні дослідження, як окрема галузь географії, а потім і екології, розпочались ще у 40-х роках ХХ століття, завдяки німецьким вченим К. Троялю [15] і Ю. Шмітхюзену. Пізніше цими проблемами займався L. Finke та багато інших дослідників із Голандії, Великої Британії, США, Франції, Канади та інших країн. У колишньому СРСР ландшафтознавчі дослідження виникли теж у 40-х роках ХХ століття незалежно від німецьких учених. Це роботи В. Н. Сукачова, Н. А. Солнцева, В. Б. Сочави, Н. П. Герасимова, Н. Л. Беручашвілі та багатьох інших вчених. В Україні ландшафтні дослідження розпочались завдяки Г. П. Міллеру [9], К. І. Геренчуку [5], П. М. Цисю, О. М. Мариничу, Л. Л. Малишевій, М. Ф. Векличу [3], приблизно в той же період, хоча їх теоретико-методологічні передумови були закладені значно раніше у працях видатних українських географів Г. І. Танфільєва (1897), Г. М. Висоцького (1904), С. Л. Рудницького (1906), П. А. Тутковського (1922) та ін.

У Карпатському регіоні дослідження гірських та передгірських ландшафтів виконували І. М. Волошин [4], Л. І. Воропай і М. О. Куниця, В. М. Гуцуляк, А. В. Мельник [8], В. М. Петлін, Г. І. Рудько [10], а в останні роки О. М. Адаменко та Я. О. Адаменко [1], В. І. Біланюк [2], Ю. М. Веклич [3], В. С. Скрипник [11], а на сусідніх теренах Польщі І. Kondracki [14], St. Pawlowski та ін. Особливо детальні ландшафтознавчі дослідження виконуються науковцями, аспірантами та студентами географічного факультету Львівського національного університету ім. І. Франка під керівництвом Г. П. Міллера, Я. С. Кравчука, В. М. Петліна, А. В. Мельника та багатьох інших науковців.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується пропонована стаття. В цілому ж ландшафтні структури поділяються на ієрархічні рівні залежно від розміру та масштабу досліджень. Наприклад, територія Битківського нафтопромисла відноситься до країни Карпати, краю Передкарпатського, області Передгірно-височинної, підобласті Пригоранської, району Прилуквинської височини, підрайону Битківське низькогір'я, ландшафту Міжбистрицького, а далі поділ ландшафтних структур відбувається на ландшафтні місцевості та ландшафтні фації.

Не дослідженими на Битківському нафтопромислі та сусідніх територіях є ландшафтні місцевості та ландшафтні фації, яким і присвячена стаття, що пропонується, і які зображені на Ландшафтній карті (рис.). Це картографічна модель ландшафтної структури, побудована шляхом гіпсометричного аналізу детальної топографічної карти масштабу 1:5000 м, з відстанями між горизонталями в 5 метрів. Використані також матеріали ґрунтової, геоботанічної, геологічної, тектонічної, геоморфологічної карт та карти розповсюдження небезпечних екзогеодинамічних процесів. Враховані також авторські дешифрування космічних знімків, а також дані регіональних ландшафтних карт Українських Карпат [6, 7, 9], Передкарпаття [7], долина р. Дністра [12] і Прута [10], а також сусідніх територій Польських Карпат [13,14].

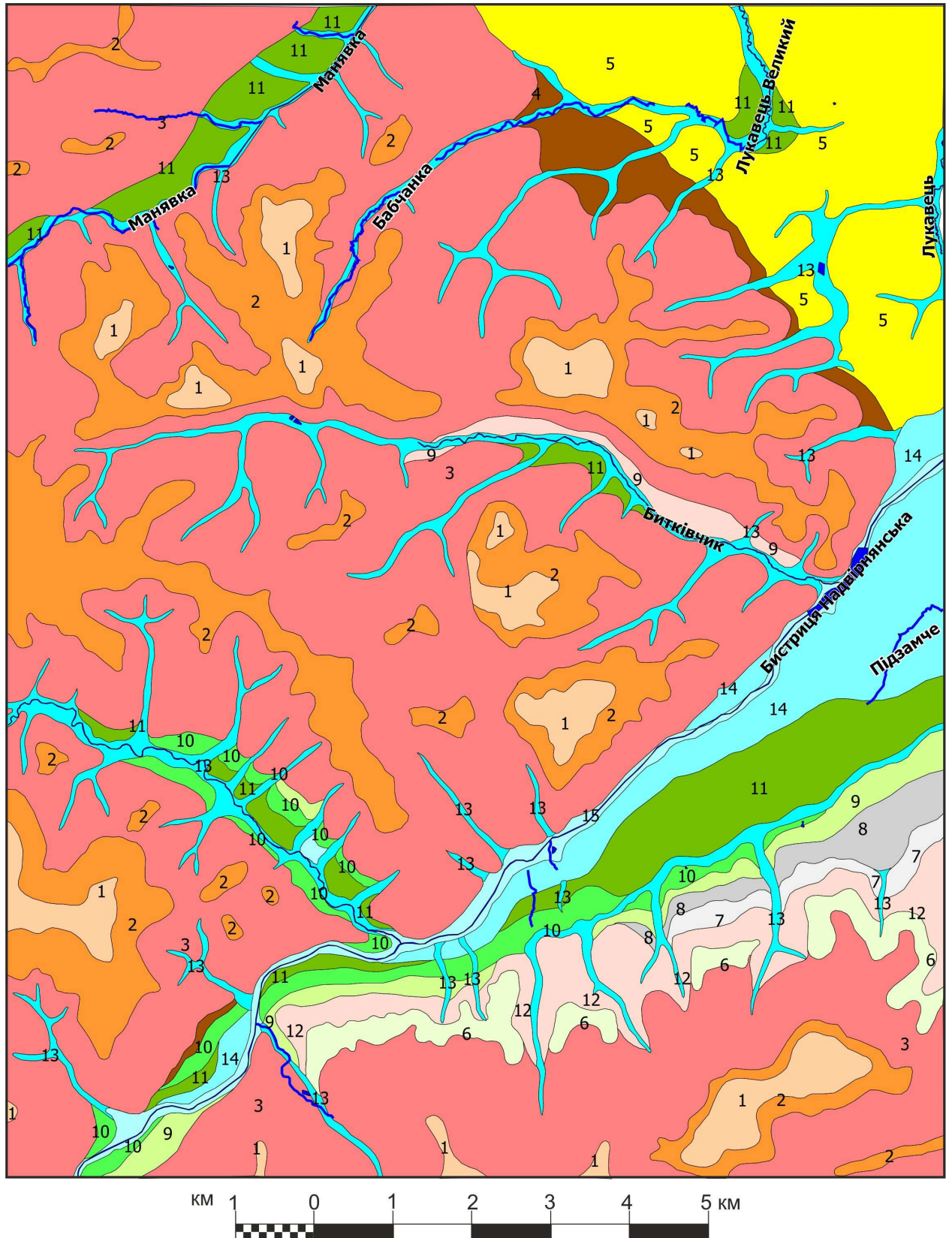


Рис. 1. Ландшафтна карта території Битківського нафтопромислу

Умовні позначення:

Гірські ландшафтні комплекси

Ландшафтні місцевості

- 1 Середьогірські (1030-600м) крутосхилі та скелясті останці-фрагменти міоценових реліктових пенепленізованих поверхонь вирівнювання з ялиново-ялицево-буковими лісами на бурих лісових ґрунтах, розвинутих по флішових піщано-алевролітових відкладах стрийської та алевроліто-аргілітових відкладах менілітової світ Скибської зони
- 2 Низькогірські (900-450м) хвилясто-східчасті нижньопліоценові педіплянізовані поверхні вирівнювання з ялиново-ялицево-буковими лісами та дубово-буковими лісами на буроземно-підзолистих та бурих лісових ґрунтах, що розвиваються на флішових піщаникових відкладах ямненської та алевроліто-аргілітових відкладах менілітової світ Скибської та Бориславсько-Покульської зон.
- 3 Низько-гірські (900-400м) крутосхилі ерозійно-денудаційні лісисті та вторинно-лучні місцевості з дубово-буковими та буково-ялицево-ялинковими лісами на бурих гірсько-лісових середньопотужних середньоскелястих ґрунтах в межах масивних пісковиків ямненської та тонкоритмічного флішу бистрицької світ, аргілітів з прошарками пісковиків нижньоменілітової підсвіти Скибової зони та піщано-глинисто мергельного флішу Бориславсько-Покульської зони.

Передгірські ландшафтні комплекси

Ландшафтні місцевості

- 5 Горбисто-грядові ерозійно-зсувні межиріччя складені еолово-елювіально-делювіальними суглинками з ялицево-дубово-буковими лісами на дерново-підзолистих поверхнево-оглеєних ґрунтах, зайняті садами, полями, городами та луками.

Ландшафтні фації

- 6 Слабохвилясті поверхні пізньопліоценової VI надзаплавної тераси (рівень Лоевої) складеної галечниковим алювієм, що перекритий червоно-бурими глинами з буково-дубовими лісами на дерново-підзолистих глейових і буроземно-підзолистих ґрунтах на глинах, алевролітах і пісковиках Бориславсько-Покутської зони.
- 7 Вирівняні поверхні раннє четвертинної V надзаплавної тераси, складеної піщано-гальково-гравійним русловим алювієм, перекритим жовто-сірими суглинками з дубово-буково-грабовими лісами на дерново-підзолистих ґрунтах.
- 8 Слабопокаті поверхні середньочетвертинної IV надзаплавної тераси, складеної русловими піщано-гравійними відкладами, перекритими жовто-сірими лесоподібними супісками та суглинками з буково-дубовими лісами на дерново-підзолистих глейових ґрунтах, зайняті орними землями.
- 9 Рівні, місцями заболочені поверхні середньочетвертинної III надзаплавної тераси, складеної галечниково-супіщано-суглинистим алювієм з дубово-буковими і грабово-дубовими лісами та луками на дерново-підзолистих глейових ґрунтах.
- 10 Рівні поверхні верхньочетвертинної II надзаплавної тераси, складеної піщано-суглинистим алювієм та лесоподібними суглинками з дубово-грабово-буковими лісами та луками, часто заболоченими на дерново-підзолистих лучних і болотних ґрунтах, зайнятих переважно орними землями.
- 11 Слаборозчленовані, переважно рівні поверхні верхньочетвертинної I надзаплавної тераси, складеної піщано-суглинистими намуловими відкладами з поверхні заболоченими, зайняті дубово-грабовими лісами та сільськогосподарськими землями на лучно-болотних та дерново-підзолистих ґрунтах.
- 12 Покаті та горбисто-хвилясті ерозійно-денудаційні схили, іноді педименти між поверхнями надзаплавних терас, покриті еолово-делювіально-пролювіальними суглинками з виключенням щебня з чагарниковою та лучною рослинністю на бурих лісових ґрунтах.
- 13 Рівні заболочені днища річкових та потічкових долин, складені алювіальними галечниками, пісками, суглинками та глинами з болотистими окультуреними луками на дерново-підзолистих сильноглейових ґрунтах.
- 14 Плоскі заболочені поверхні нижньоголоценової високої заплави, складеної галечниками, пісками, суглинками і супісками з лучною і чагарниковою рослинністю на дернових нерозвинутих ґрунтах.
- 15 Хвилясто-грядові поверхні верхньоголоценової низької заплави та русла річок, складені піщано-галечним алювієм старичними намулами та заплавами суглинками, іноді з трав'яною рослинністю та ембріональними лучно-болотними ґрунтами.

 Гідромережа

Отже, **формулювання цілей статті (постановка завдання) наступне:** виділити на площі Битківського нафтопромислу та сусідніх територіях ландшафтні комплекси на ієрархічних рівнях місцевостей і фацій, побудувати Ландшафтну карту з морфологічними, генетичними та віковими характеристиками ландшафтних структур як основу для екологічної оцінки впливу нафтопромислу на природні геосистеми.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Ландшафтний аналіз досліджуваної території дозволив виділити, обґрунтувати та закартувати наступні ландшафтні комплекси.

Ландшафтні місцевості

Найвищий ярус рельєфу в межах від 1030 до 600 м абсолютної висоти віднесений нами до ландшафтно-місцевості *середньогірські крутосхилі та скелясті останці* – фрагменти міоценових реліктових пенепленізованих поверхонь вирівнювання, що розповсюджені широкими масивами у південно-західному та південно-східному кутах досліджуваної території (див. рис.). У центрі її, а також у північно-західному куті збереглись лише окремі останці. Поверхні вирівнювання у гірських Карпатах відносяться до трьох вікових підрозділів [7, 12, 13]: крейдо-палеогенового – це полонинський пенеплен високогірної зони Чорногори та румунського Мараморошу; міоценові придолинські поверхні вирівнювання Верховинсько-Полонинського хребта, Горган та Бескид і раннепліоценові передгірські педіменти на межі Скибової та Бориславсько-Покутської зон. Отже, у досліджуваному районі розвинуті релікти міоценової поверхні вирівнювання. Її генезис (походження) пов'язують з догірською геологічною історією Карпат, коли з нинішніх передгір'їв регресувало сарматське море у більш глибокі зони океану Тетис, гори ще не піднімались, а суходоли продовжували вирівнюватись денудаційними процесам, формуючи полігенетичну поверхню вирівнювання – міоценовий пенеплен. Це – майже рівнина, денудація якої відбувалась зверху, а продукти руйнації корінних гірських порід зносились повільно меандруючими ріками на схід, де вони акумулювались у сарматському морі.

У сучасному рельєфі досліджуваної території збереглись лише релікти цього пенеплену у вигляді нешироких середньогірських пасм та крутосхилих скелястих останців. На їх поверхнях розвинуті бурі лісові ґрунти з ялиново-ялицево-буковими лісами. Геологічною основою цих ландшафтів є флішові піщано-алевролітові відклади стрийської та алевроліто-аргілітові відклади мінілітової світ Скибової зони.

Наступним висотним ярусом рельєфу в межах 900-450 м є *низькогірські хвилясто-східчасті нижньопліоценові педипленізовані поверхні вирівнювання*, що утворились в результаті поступового, довготривалого розчленування попередньої міоценової поверхні вирівнювання процесами педипленізації. На відміну від пенепленізації, де процеси вирівнювання йдуть завдяки денудації зверху, педипленізація – це процеси вирівнювання шляхом поп'ятної (відступаючої) ерозії збоку. Замість денудації головну роль починають відігравати процеси бокової ерозії з утворенням делювіально-пролювіальних конусів винесення, ярів, шлейфів під уступами педиментів.

У досліджуваному регіоні нижньопліоценові педіменти широко розповсюджені по всій території. Вони обплямовують, об'єднують більш високі останці попередньої ландшафтно-місцевості міоценового пенеплену. Нижньогірські, так звані придолинні поверхні вирівнювання покриті буроземно-підзолистими та бурими лісовими ґрунтами, на яких розповсюджені ялиново-ялицево-букові та дубово-букові ліси. Геологічною основою цього ландшафтного комплексу є флішові піщаникові відклади яменської та алевроліто-аргілітові відклади менілітової світ Скибової та Бориславсько-Покутської зон.

Нижче двох поверхонь вирівнювання до терасованих річкових долин розташовані *низькогірські (900-400м) крутосхилі ерозійно-денудаційні лісисті та вторинно-лучні ландшафтні місцевості*, що займають майже половину площі досліджуваної території і являють собою типовий гірський рельєф з глибокими річковими V-подібними долинами великих і малих річок, потічків, струмків. Схили долин «розсічені» ярами, іноді

канавоподібними ущелинами, вздовж яких відбувається активна донна та бокова ерозія, зноситься велика кількість продуктів розмиву корінних порід – щебеню, піску, уламків не обкатаного матеріалу та ін. У гирлах таких потічків, при впадінні їх у головну долину, утворюються пролювіальні конуси винесення, а між конусами – шлейфи делювіально-пролювіальних відкладів. Цікавим за походженням є найкрутіший береговий уступ вздовж лівого берега р. Бистриці Надвірнянської (див.рис.). Його крутизна сягає іноді 45–50° і він постійно обновлюється річкою. Це прояв відомого закону Бера: у північній півкулі Землі ріки, що течуть на північ або північний схід, підмивають свої ліві береги, завдяки прояву сил Коріоліса, направлених з заходу на схід, згідно такого напрямку обертання Землі.

Ландшафтна місцевість – крутосхилий ерозійно-денудаційний рельєф, як правило не має ґрунтового покриву, що не тримається на крутих схилах, а там, де він є, це – бурі гірсько-лісові середньо потужні середньоскелетні ґрунти, покриті дубово-буковими та буково-ялицево-ялиновими лісами, а там, де ліси знищені розвиваються вторинно-лучні ландшафтні формації. В основі цієї місцевості розвинуті масивні пісковики ямненської та тонко ритмічний фліш бистрицької світ, аргілітів з прошарками пісковиків нижнєменілітової підсвіти Скибової зони та піщано-глинисто-мергельного флішу Бориславсько-Покутської зони.

Передгірські ландшафтні комплекси

Ландшафтні місцевості

Східчасті схили педіментів розвинуті вузькою смугою північно-західного-південно-східного простягання на переході від гірських до передгірських ландшафтів у верхів'ях річок Лукавець Великий та Лукавець Малий. Педіментація низькогірського рельєфу відбувалась у пізньому пліоцені – ранньому антропогені, коли уже почала формуватись сучасна річкова мережа. Схили-педіменти складені елювіально-делювіальними та пролювіальними суглинками та глинами з лінзами щебеню і піску. Ґрунтовий покрив – дерново-підзолистий та буро-гірськолісовий, як правило розораний під сільськогосподарське використання. У річкових долинах збереглись ялицево-ялиново-букові та дубово-грабові ліси.

Горбисто-грядові ерозійно-зсувні межиріччя займають північно-східний кут досліджуваної території. Рельєф – плоский, рівнинний, слабо розчленований широкими долинами верхів'їв річок Лукавець Великий та Лукавець Малий, а також потічками, що впадають зліва у р. Бистрицю Надвірнянську. Абсолютні висоти в межах долин 405-410 м, а на межиріччях вони піднімаються до 420-430 м. З поверхні розвинуті еолово-елювіально-делювіальні лесоподібні суглинки, перекриті дерново-підзолистими, дерново-буроземними, а в долинах – бурими лісовими ґрунтами, як правило зайнятими садами, полями, городами та луками і випасами. У долинах річок ростуть дубово-букові ліси та чагарники.

Ландшафтні фації

Це найнижча ланка у ландшафтній ієрархії, але вона є важливою для еколого-ландшафтного аналізу територій нафтогазовидобування. Фації представлені долинними утвореннями надзаплавних та заплавних терас різних річок, які на досліджуваній території мають розвинуту мережу від головної річки Бистриці Надвірнянської до її численних допливів – малих річок та потічків.

Слабохвилясті поверхні пізньопліоценової VI надзапавної тераси, яка ще відома під назвою рівень Лоевої, виділеної ще на початку XX століття при складанні «Геологічного атласу Галіції» [12, 14. Древніше рівня Лоевої є також пізньопліоценовий рівень Красної (VII надзапавна тераса Дністра) на півночі Передкарпаття [7]. На досліджуваній території терасовий ряд розпочинається з VI тераси. Вона прослідковується на півдні вздовж правого берега р. Бистриці Надвірнянської у межах абсолютних висот 610-620 м, піднімаючись над руслом р. Бистриці Надвірнянської на 120-130 м. VI тераса складена крупним галечником з окремими валунами, добре обкатаними, зцементованими

буровато-жовтими пісками і супісками руслової фації, перекритими червоно-бурими глинами заплавної фації. Потужність алювію – кілька метрів. Вище залягають покривні лесоподібні суглинки середнього-пізнього плейстоцену.

Алювій рівня Лоевої (назва від села Лоева між Надвірною і Делятином) свідчить, що Дністер тоді протікав на 20–30 км південніше і його долина примикала безпосередньо до гір. Крупноглибовий алювій свідчить про повноводність рік як Дністра, так і Бистриці Надвірнянської, а рудувато-червоний колір цементу на заплавах глинах указує на активну міграцію гідроокислів заліза в умовах теплого і вологого клімату типу нинішнього середземноморського.

На поверхні VI тераси розвинуті дерново-підзолисті глейові та буроземно-підзолисті ґрунти, на яких ростуть буково-дубові ліси, а на оголених ділянках – чагарники та вторинні луки.

Вирівняні поверхні ранньчетвертинної V надзаплавної тераси, складеної пісчано-гравійно-гальковим русловим алювієм потужністю 5–8 м, перекритим жовто-сірими суглинками і глинами. Висота V тераси над р. Бистриця Надвірнянська 90–100 м. У долині Дністра – це теж V надзаплавна тераса, яка має назву галицька. На досліджуваній території V тераса розвинута на обмеженій площі, у південно-східному куті. Ґрунти – дерново-підзолисті, рослинність – дубово-букові-грабові ліси.

Слабо покаті поверхні середньочетвертинної IV надзаплавної тераси, яка у Дністровській долині має назву маріямпільська [14]. Слід відмітити, що надзаплавні тераси правобережжя долини р. Бистриці Надвірнянської від IV і до I включно не мають чітких тилкових швів чи уступів одної над іншою через інтенсивну площинну ерозію, яка перетворила ці тераси у одноманітний пологий схил від 50–70 до 10–15 м відносної висоти над руслом річки. Тому картографування цих терас (див.рис.) досить умовне, основане лише на перевищеннях похилої поверхні правобережжя.

Алювій IV тераси представлений русловими пісчано-гравійними відкладами до 3–5 м потужності, перекритими жовтуватими-сірими лесоподібними супісками і суглинками, на яких розвинуті дерново-підзолисті глейові ґрунти, зайняті орними землями. У долинах потічків, що розчленовують IV терасу, ростуть буково-дубові ліси.

Рівні, місцями заболочені поверхні середньочетвертинної III надзаплавної тераси розповсюджені вузькими смугами вздовж правобережного схилу долини р. Бистриці Надвірнянської, а також по річках Битківчик та Бухтівець (рис. 1). Її аналогом у долині Дністра є також III надзаплавна тераса, що носить там назву *Єзупільська* [14]. Висота тераси над руслом Бистриці Надвірнянської 25–30 м, алювій представлений галечниково-піщаними відкладами товщиною від 2–3 до 5–8 м. У долинах р. Битківчик та Бухтівець III тераса складена пісчано-супісчано-суглинистими заплавами фаціями товщиною 3–4 м, під якими залягає малопотужний (0,2–1 м) русловий алювій. У верхній частині розрізу III тераси Галицького Придністров'я знаходиться горохівський (прилуцький) викопний ґрунт, верхній горизонт покривних середньоплейстоценових лесів та відомі середньо- та верхньопалеолітичні стоянки Єзупіль I–V. Верхи покривної ґрунтово-лесової формації представлені нижнім (удайським) і верхнім (бузьким) горизонтами верхньоплейстоценових лесів, розділених дубнівським (вітачевським) викопним ґрунтом [14]. Потужність лесово-ґрунтового покриву змінюється від 3–4 до 6–7 м.

Сучасний ґрунтовий покрив на III терасі – дерново-підзолистий, глеєвий, на якому ростуть дубово-букові та грабово-дубові ліси і луки.

Рівні поверхні верхньочетвертинної II надзаплавної тераси розповсюджені спорадично у долинах указаних вище річок. У долині Дністра її аналог називають *колодіївською* [14]. Цоколь тераси на р. Бистриці Надвірнянській знаходиться на висоті 2 м. Русловий галечник і піски потужністю до 2 м вміщують заплавні суглинки, старичні торфи й гіттия. Висота тераси 15–20 м, а загальна потужність алювію не перевищує 5–6 м. Алювій II тераси відповідає горохівському (прилуцькому) викопному ґрунту, тобто еємському міжльодовиків'ю Західної Європи.

Сучасні ґрунти на поверхні ІІ тераси представлені заболоченими дерново-підзолистими різновидами та лучними і болотними ґрунтами, розораними під сільськогосподарське використання. У долинах потічків, що розчленовують ІІ терасу, ростуть дубово-грабово-букові ліси, чагарники та луки.

Слаборозчленовані, переважно рівні поверхні верхньочетвертинної І надзаплавної тераси, підняті над руслом Бистриці Надвірнянської на 10–12 м і створюють високий масив на її правобережжі (див.рис.). На інших річках, названих вище, І тераса розвинута вузькими смугами на лівих і правих берегах. Алювій представлений піщано-суглинистими та намуловими відкладами, з поверхні заболоченими, потужністю 5–8 м. На поверхні алювію розвинуті лучно-болотні та дерново-підзолисті ґрунти, на яких ростуть дубово-грабові ліси. Більша частина площі І-ої тераси розорана під сільськогосподарське використання.

Покажі та горбисто-хвилясті ерозійно-денудаційні схили, іноді педименти між поверхнями надзаплавних терас розповсюджені на півдні досліджуваної території (див.рис.). Як правило, вони перекриті еолово-делювіально-пролювіальними суглинками з включенням щебеню та лінз пісків. Ґрунтовий покрив представлений бурими лісовими ґрунтами з чагарниковою та лучною рослинністю.

Рівні заболочені днища річкових та потічкових долин створюють своєрідний каркас-скелет на усій досліджуваній території. Це дренажна система для усіх різновидів ландшафтів. Вони заповнені алювіальними, алювіально-делювіально-пролювіальними та пролювіальними відкладами: галечниками, пісками, суглинками і глинами, покритими дерново-підзолистими сильноглейовими ґрунтами з болотистими окультуреними луками.

Плоскі заболочені поверхні нижньоголоценової високої заплави, складеної галечниками, пісками, суглинками і супісками з лучною і чагарниковою рослинністю на дернових нерозвинених ґрунтах. Ця ландшафтна фація розвинута тільки у долині р. Бистриці Надвірнянської. У інших долинах, її допливах заплава на високу та низьку не розчленовується.

Хвилясто-пасмові поверхні верхньоголоценової низької заплави та річище р. Бистриці Надвірнянської складені піщано-гальковим алювієм, старичними намулами та заплавними суглинками, покритими ембріональними лучно-болотними ґрунтами з трав'янистою рослинністю.

Висновки з даного дослідження та перспективи. Підводячи підсумки аналізу ландшафтної структури, підкреслимо наступне:

1 Характерною особливістю ландшафтів Битківського нафтопромислу та сусідніх територій є їх висотна ярусність від середньо- та низькогірських до передгірських та долинних. Ландшафтні місцевості та ландшафтні фації формувались підпорядковано абсолютним та відносним висотам топографічної поверхні. Тому ведучим чинником в уособленні та індивідуальній ідентичності тої чи іншої ландшафтної структури був рельєф досліджуваної території. Разом з геологічною основою рельєф визначав утворення морфоструктур, які потім модифікувались різними агентами морфоскульптурного процесу – водними потоками гідромережі, переважними напрямками вітрів, делювіально-пролювіальними процесами, денудацією та ерозією, наявністю того чи іншого ґрунтового та рослинного покриву.

2 Генезис або походження ландшафтів на території досліджуваного регіону досить різноманітний – від денудаційних реліктів вершинної пенепленізованої поверхні вирівнювання, більш молоді педипленізованої поверхні, педиментів на переході від гірського до передгірського рельєфу, до глибкорозчленованих ерозійно активних крутосхилів та ступінчастих сходинок річкових терас. Усе це завуальовано плащеподібним еолово-делювіально-пролювіальним покривом лесоподібних суглинків та лесів.

3 Вікові межі утворених ландшафтних структур визначались по наявності спряжених з ними осадових утворень із продуктів руйнування корінних порід, перевідкладених еолово-делювіально-пролювіальними та алювіальними процесами. Тому

в межах дослідженої території виділені релікти – останці міоценового пенеплену, нижнепліоценові педіменти, середньопліоценово – четвертинні глибокорозчленовані крутосхили, верхньопліоценові педіменти передгір'їв та серія із шести надзаплавних верхньопліоценових та плейстоценових надзаплавних та двох голоценових надзаплавних терас.

Подальші дослідження повинні бути спрямовані на екологічну оцінку кожної виділеної ландшафтної структури.

Література

- 1 Адаменко О. М. Екологічна безпека нафтогазового комплексу у Західному регіоні України / О. М. Адаменко, Я. О. Адаменко, В. М. Антонюк та ін. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. – 384 с.
- 2 Біланюк В. І. Ландшафти Українських Карпат в зонах трас магістральних трубопроводів / В. І. Біланюк. – Львів: Меркатор, 1998. – 102 с.
- 3 Веклич М. Ф. Основы палеоландшафтоведения / М. Ф. Веклич. – К.: Наукова думка, 1990. – 190 с.
- 4 Волошин І. М. Ландшафтно-екологічні основи моніторингу / І. М. Волошин. – Львів: Простір М, 1998. – 356 с.
- 5 Геренчук К. І. Ландшафтний аналіз деяких фізико-географічних процесів в Українських Карпатах / К. І. Геренчук, Й. Я. Вишневський, З. Й. Ядюк // Вісник Львівського університету. – географії, випуск 6. – 1971. – с. 10-21.
- 6 Державна геологічна карта України. Масштаб 1:200000. Карпатська серія. Аркуш М-45-XXV (Івано-Франківськ).
- 7 Кравчук Я. С. Геоморфологія Передкарпаття / Я. С. Кравчук. – Львів: Меркатор, 1999. – 188 с.
- 8 Мельник А. В. Ландшафтний моніторинг / А. В. Мельник, Г. П. Міллер. – К., 1993. – 152 с.
- 9 Міллер Г. П. Ландшафтныя исследования горных и предгорных территорий / Г. П. Міллер. – Львов: Вища школа, 1974. – 202 с.
- 10 Рудько Г. І. Стратегічна екологічна оцінка та прогноз стану довкілля західного регіону України / Г. І. Рудько, О. М. Адаменко, Л. В. Міщенко. – Київ: Букрек, 2017. – Г. 1 – 472 с., Г. 2 – 584 с.
- 11 Скрипник В. С. Оцінка впливів об'єктів нафтогазового комплексу на антропогенні ландшафти Прикарпаття / В. С. Скрипник // Наук. записки Вінницького держ. педагогічного університету ім. М. М. Коцюбинського. Серія: Географія, вип. 10, 2005. – С. 30 – 35.
- 12 Яцишин А. М. Методи дослідження четвертинних відкладів / А. М. Яцишин, Р. Я. Дмитрук, А. Б. Богущкий. – Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. І. Франка, 2009. – 177 с.
- 13 Karpaty. Podział fizyczny – geograficzny. Wg. Prof. I. Komdratiego, mapa w skali 1:200000. Warszawa: P. Kartografia, 1993.
- 14 Lessy i paleolit Naddniestrza halickiego (Ukraina) // Studia Yeologica Polonica, vol. 119/ - Kraków, 2002. – 391 s.
- 15 Troll C. Luftbildpean und ökologische Bodenforschung // Z. Yes. Endkundezu Berlin. – 1939. – 7-8. – S. 241-298.

© Х. Б. Караванович

*Надійшла до редакції 6 листопада 2017 р.
Рекомендував до друку
докт. геол.-мін. наук О. М. Адаменко*

*В. С. Бойко, О. М. Мандрик,
А. І. Зельманович
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

ПЕРЕТІКАННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД МІЖ ПЛАСТАМИ І СТРУКТУРИ ПОТОКІВ, ЯКІСТЬ ЗМІШАНИХ ВОД І ЕКОЛОГІЧНИЙ ЗАХИСТ

Процес перетікання описано комплексним потенціалом (характеристичною функцією), на основі аналізу якого розглянуто три випадки процесу (відсутність перетікання техногенної води, відсутність фільтрації природної води, поєднання наявності потоку природної води і перетікання техногенної води). Відповідно побудовано і досліджено структури потоків (гідродинамічні сітки) в пласті, куди перетікає техногенна вода. Розглянуто підходи до оцінки змін якості природної води внаслідок хімічного, бактеріального і вуглеводневого забруднення її та напрямки екологічного захисту.

Ключові слова: екологічний захист, якість підземних вод, гідродинаміка перетікання вод між пластами.

The process of overflowing is described by a complex potential (the characteristic function). The next three considered cases are based on its analysis: no flow of man-made water, no filtration of natural water, and a combination of the presence of a natural water stream and flow of man-made water. Flow structures in a stratum, which technogenic water is flowing in, are constructed and investigated respectively (hydrodynamic grids). Approaches to the measurement of change in the quality of natural water due to its chemical, bacterial and hydrocarbon contamination, and the directions of environmental protection are considered.

Key words: environmental protection, quality of groundwater, hydrodynamics of water flow between strata.

Актуальність теми. Частка підземних прісних вод у загальному водоспоживанні постійно підвищується на фоні великого зростання всього водоспоживання [14]. Такий стан у значній мірі пояснюється випереджувальним забрудненням (погіршенням якості аж до непридатності) поверхневих (річкових та озерних) вод. Значна кількість великих міст споживає підземну воду (чи то підруслову, чи то пластову воду напірних або безнапірних горизонтів), а велика кількість населення – бутильовану воду із артезіанських пластів. З огляду на виняткову цінність прісних вод та мінеральних вод лікувального і бальнеологічного значення актуальною проблемою є моніторинг довкілля і надр, у т.ч. екологічний захист підземних вод від інжекційних та ежекційних техногенних процесів під час освоєння і розробки нафтових та газових родовищ, а це зумовлює виділення як окремого наукового напрямку – гідрогеодинамічної екології.

Аналіз досліджень проблеми. Як назва науки геологічного циклу про підземні води слово “гідрогеологія” появилось у кінці XIX століття, а появу гідродинаміки під назвою теорії фільтрації пов’язують з іменем французького вченого А. Дарсі, який у результаті дослідів із фільтрації води в пісках встановив основний закон фільтрації (1856 р.) названий пізніше його іменем [9; 10]. Відтоді, зрозуміло виконано дуже багато робіт в обох науках, які сформуvalи основний наукові напрямки – загальна гідрогеологія, гідрогеохімія, динаміка підземних вод (у т.ч. міграція підземних вод як розчинів різних речовин), нафтогазова підземна гідрогазомеханіка, гірничопромислова гідрогеологія, регіональна гідрогеологія, кріогідрогеологія. Основи досліджень підземних вод заклали А. Дарсі (1887 р.), Ж. Дюноі (1863 р.), К. Е. Лембке (1887 р.), Ч. Сліхтер (1898 р.), Ф. Форхгеймер (1886 р.), А. А. Краснопольський (1912 р.), М. Є. Жуковський (1889 р.), Н. Н. Павловський (1922 р.), Г. Н. Каменський (1935 р.), а відтак Н. К. Гірінський, П. Я. Полубарінова-Кочіна, В. І. Аравін, С. Н. Нумеров, Н. Н. Веригін та ін. Нафтогазовий напрям почав розвиватися на початку 20-х років минулого століття в працях

Л. С. Лейбензона (1937 р.), М. Маскета (1937 р.), В. М. Щелкачова (1945 р.), Г. Б. Пихачова (1939 р.), Б. Б. Лапука (1949 р.) та інші.

В основному розв'язано задачі фільтрації вод в обхід і під гідротехнічними спорудами, зокрема у новому науковому напрямі гідрогеомеханіки, створеного В. А. Мироненком та В. М. Шестаковим, завдання гірничопромислової гідрогеології, задачі фільтрації із водосховищ і каналів, фільтрації до водозаборів різної конструкції і просторового розміщення та різної їх кількості, задачі міграції підземних вод із урахуванням процесів гідратації, розчинення, гідролізу, сорбції, іонного обміну, дифузії, хімічної кінетики в умовах зміни температури та концентрації підземних розчинів і т.д. [9]. Значні дослідження, пов'язані з обґрунтуванням охорони підземних вод від забруднення (зміни якості та фізичних, хімічних і біологічних властивостей води, що призводить її до часткової або повної непридатності для використання), прогнозами міграції забруднення і підземних вод та розрахунками зон санітарної охорони водозаборів, виконали Ф. М. Бочевєр, Ф. Д. Бабушкін, М. М. Веригін, Є. Л. Мінкін, А. Є. Орадовська, В. М. Шестаков, А. С. Белицький, В. М. Щелкачов, М. А. Гусейн-Заде, В. М. Гольдберг та інші [5, 6]. Погіршення якості прісних підземних вод на водозабір в прибережних районах внаслідок солоних вод за різних гідродинамічних умов розглянуто в роботі [6].

Щодо перетікання вод між пластами в гідрогеологічній літературі [4] питання розглядається якісно як констатація можливих каналів перетікання.

Робота М. А. Гусейн-Заде і Ч. К. Колосовської [8] висвітлює математичний апарат дослідження перетікання рідини із пласта в пласт при пружному режимі фільтрації за наявності між ними слабопроникного шару (покрівлі або підшви) для випадків плоского паралельного і осесиметричного потоків у пласті, із якого перетікає рідина. Розв'язки подано складними формулами, часто у вигляді нескінчених рядів із використанням функцій Бесселя, Гріна, Хевісайда і дельта-функції Дірака, операторів Лапласа і Фур'є. У ряді випадків ці формули зведено до вигляду, зручного для практичного використання. Показана прийнятність за деяких умов наближеного гідравлічного методу, який відомий в динаміці підземних вод гідрогеологам, зазвичай називається схемою Мятієва-Гірінського і полягає в усередненні тиску по вертикалі в продуктивних пластах.

Виділення невирішених питань загальної проблеми. Невирішеними залишились питання формулювання умов та дослідження процесу перетікання підземних вод між пластами внаслідок порушення герметичності (непроникності) підшви чи покрівлі пласта, в який перетікає вода.

Формулювання цілей статті. Метою є постановка задачі та дослідження перетікання підземних вод між пластами та структури потоків у пласті, в який перетікає вода, оцінки умов зміни якості змішування вод внаслідок перетікання та визначення напрямків екологічного захисту вод від забруднювання.

Методи дослідження. Для вирішення цих питань використано гідрогеологічні та гідродинамічні положення, методи комплексного потенціалу і суперпозиції, фізико-хімічні методи аналізу змішаних вод.

Виклад основного матеріалу. Перетікання вод із нижнього пласта у верхній пласт чи навпаки можливе тільки за наявності певних умов.

Для простоти і ясності викладу матеріалу назвемо воду, яка перетікає в інший пласт, техногенною, тобто спричиненою діяльністю людини, а природною назвемо воду, котра залягає в пласті, куди перетікає перша.

Умови перетікання води. Перетікання техногенної води у пласт природної води можливе, *по-перше*, за наявності перепаду зведених тисків (зведених до одної площини порівняння) чи, інакше, зведених гідравлічних напорів.

У гідрогеологічній літературі [3, 10, 13] широко обговорюється питання розрахунку зведеного тиску (напору) і вибору площини порівняння. За І. Я. Єрміловим мінералізовані води перераховуються на прісні води, зводяться до спільної площини порівняння, а розрахунок виконується так:

$$p_{зв} = (h + z)\rho g, \quad (1)$$

де $p_{зв}$ – зведений тиск; h – висота статичного рівня води у свердловині; ρ – густина води у свердловині; g – прискорення вільного падіння; z – висота вибою свердловини над вибраною площиною порівняння.

А. І. Сілін-Бекчурін запропонував ввести функціональну залежність густини води із глибиною залягання (потоків змінної густини), тоді зведений тиск

$$p_{зв} = p_i + g \int_a^i \rho(z) dz, \quad (2)$$

де p_i – відомий гідростатичний тиск на будь-який із площин, проведених вздовж потоку; $g \int_a^i \rho(z) dz$ – статичний тиск стовпа рідини між площинами i (подібний підхід є і в М. Hubbert), а для випадку прямолінійної зміни густини з глибиною (усереднена густина)

$$p_{зв} = h\rho_1 g + \frac{\rho_1 - \rho_2}{2} z g, \quad (3)$$

де h – висота статичного рівня рідини у свердловині; ρ_1, ρ_2 – густини води відповідно у свердловині і на вибраній площині порівняння; z – висотою вибою свердловини над площиною порівняння.

Формула І. Я. Єрмілова придатна тільки для випадків коли води незначно відрізняються за мінералізацією і густиною, а формула А. І. Сілін-Бекчуріна з усередненою густиною у звичайних умовах при правильному виборі площини порівняння дає похибку в декілька процентів, а тому в даний час є основною формулою.

Площину порівняння рекомендується вибирати так, щоб у всіх точках її перетину із водоносним пластом гідростатичні тиски були однаковими, а це рівнозначно тому, щоб густини були однакові. Оскільки для цього треба мати дані, які часто відсутні, то на практиці площину порівняння вибирають на глибині, на якій відома максимальна густина води в межах досліджуваного пласта.

І. К. Зерчанінов запропонував відмовитися від загальної площини порівняння і попарно зіставляти напори свердловин по вибраних профілях, базуючись на формулі А. І. Сілін-Бекчуріна:

$$\Delta p'_{зв} = g \frac{h_1 \rho_1 + \Delta z'(\rho_1 \rho_2)}{2} - h_2 \rho_2 g, \quad (4)$$

де $\Delta p'_{зв}$ – різниця зведених пластів у порівнюваних свердловинах; h_1, ρ_1 – висота статичного рівня і густина води в першій (за вибраним профілем) свердловині; h_2, ρ_2 – аналогічно у другій свердловині; $\Delta z'$ – різниця глибин розкриття пласта у двох свердловинах.

В. В. Ягодін запропонував уточнений спосіб розрахунку зведення тиску на основі емпіричних кривих зміни густини вод g у залежності від глибини h , характерних для даного конкретного району і взяти замість лінійної залежності за А. І. Сілін-Бекчуріним степеневу залежність $\rho = (h/b)^{1/n}$, b, n – коефіцієнти в емпіричній залежності (визначаються шляхом подання цієї залежності в логарифмічних координатах $b - \lg h = \lg + n \lg \rho$). Цей метод придатний тільки під час детальних досліджень у добре вивчених районах, що уможливило із достатньою точністю виявити характер зміни густини вод із глибиною і правильно вибрати площину порівняння.

У разі великих глибин залягання пластів необхідно також враховувати температурну поправку щодо густини води.

По-друге, перетікання води (чи нафти, газу) із пласта в пласт можливе тільки за наявності каналів перетікання та гідравлічної відкритості (аккумуляційної здатності) пласта, в який відбувається перетікання. Не заглиблюючись у питання походження і накопичення підземних вод, відмітимо, що вода в земній корі зустрічається майже повсюди; пористі гірські породи, заповненні або рідиною (водою, нафтою), або газом. Самовільна пустота в породі існувати не може. Протягом геологічних віків сформувалась гідростатична рівновага флюїдів (води, нафти, газу, яка може порушуватися внаслідок різних рухів земної кори (опускання, піднімання, скиди, вскиди і т.д.), але в наш час рівновага швидко відновлюється.

Розмаїття умов залягання підземних вод визначається фізико-географічними, геологічними та термодинамічними чинниками і техногенними процесами. У роботах В. І. Вернадського, Ф. П. Саваренського, Н. І. Толстихіна, К. Кельчака, О. Мейнцера, Е. В. Піннекера та інші [10] виділено в літосфері (стосовно суші) дві основні зони – зону аерації і зону насичення.

Зоні аерації відповідають води підвішеного типу (класу верховодки, приповерхневих вод), зоні насичення – ґрунтові (переважно безнапірні) та напірні міжпластові (інфільтраційні води, що надходять зверху) в пористих і тріщинуватих породах з гідростатичним напором та ексфільтраційні води, що надходять знизу, осадових товщ із геостатичним або геодинамічним тиском, а на великих глибинах – із впливом термічної дегідратації мінералів (за винятком вод кріолітозони та районів сучасного вулканізму).

Ґрунтові води приурочені до водоносного горизонту (пласта), який залягає на першому від земної поверхні витриманому водоупорі. Зверху горизонт ґрунтових вод, відділений від зони аерації вільною поверхнею води (дзеркалом ґрунтових вод), слід якої на вертикальній площині називають рівнем ґрунтових вод.

Зміна цього рівня залежить головним чином від кліматичного фактора (кількості опадів та інтенсивності випаровування), тобто від надходження води зверху через зону аерації, а також в окремих випадках за рахунок перетікання нижніх напірних вод через літологічні “вікна”, по різних розломах порід, по заколонному простору негерметичних свердловин (неякісний цементний камінь із кавернами і тріщинами, щілини між цементним каменем та гірськими породами) і т.д.

Різниця в рівнях ґрунтових вод зумовлює їх рух, утворення потоку ґрунтових вод.

Пластові порові води пов’язані із уламковими зернистими колекторами (піщано-алевритові породи, гравійно-галькові відклади гірських районів, конусів винесення в передгірських западинах і т.д.), пластові тріщинно-порові води характерні для піщаних та інших осадових порід, котрі знаходяться на перших етапах формування в них тріщинуватої структури і поширені в осадових породах платформних областей та в кристалічних масивах, а пластові тріщинно-карстові води характерні для карбонатних і теригенно-карбонатних порід, котрі містять деколи пласти або лінзи піску, ангідриду, кам’яної солі.

Тріщинно-жильні води зон вивітрювання та тектонічної і літологічної тріщинуватості характерні для гірсько-складчастих областей. Карстово-жильні води залягають у карбонатних і теригенно-карбонатних породах, а локально-тріщинні води зон тектонічних порушень поширені переважно в гірсько-складчастих областях.

При природному виході підземних вод на денну поверхню (дренуванні водоносного горизонту) відбувається розвантаження вод у вигляді розосереджених джерел (спадних джерел за гідравлічним станом), а при природному виході напірних вод маємо висхідні джерела підземних вод.

Дренування водоносних пластів у природних умовах може відбуватися джерелами безпосередньо на поверхню землі (на схилах гористої місцевості, ярів, бескидів, на берегах річок і потічків, у видолинках), шляхом підземного стоку води у поверхневі

водостоки та водоймища, у формі переливання підземних вод у нижчезалеглі (вищезалеглі) пласти.

Виникання джерел пов'язано із різними видами природних порушень та неоднорідностями будови масиву гірських порід, основними із яких є ерозійна розчленованість рельєфу, тектонічні порушення, тріщини, пустоти, фільтраційна неоднорідність масиву гірських порід, а літологічна неоднорідність (наявність літологічних “вікон”), а також порушення, зумовлені техногенним впливом (сейсмічні роботи, буріння свердловин, негерметичність стовбурів свердловин, шахт, котлованів і т.д.).

Звідси висновок, що наявність природних (самочинних) виходів підземних вод зони насичення є ознакою перетікань води між пластами, тобто відкритості водоносного пласта. Якщо виходи відсутні, то акумуляційна здатність пласта є невеличкою за рахунок підвищення тиску (пружності водонасичених порід) в ньому, наприклад, в разі нагнітання води з метою витіснення нафти в сусідньому пласті за високих тисків нагнітання. Пласти ґрунтових вод слід відносити до відкритих систем, акумуляційна здатність яких контролюється дзеркалом ґрунтових вод, характеризується наявністю та інтенсивністю поверхневих джерел (криниць із протічною водою) і глибиною рівня води у колодязях (із певним відбором води).

До зон тектонічних порушень приурочені також виходи мінеральних джерел.

Джерела підземних вод в окремих випадках пов'язані із нафтогазовими родовищами, так як належать до одної водонапірної системи.

Подібні судження стосуються також й перетікань нафти та газу.

Прикладів перетікань води, нафти і газу на Прикарпатті маємо багато. Так, у Східниці (Бориславський нафтопромисловий район) відомо кілька природних джерел мінеральної води «Нафтуса», із свердловин, пробурених на нафту витікають мінеральні води «Нафтуса», содова і залізна. У Биткові (Надвірнянський нафтопромисловий район) недавно появилася нафта в колодязі, газ витікає із берега потічка. Накопичення газу зафіксовано у соляній шахті Долини. На початках розвитку нафтової промисловості в Прикарпатті було багато природних витікань нафти на поверхню, а під час розробки нафтових родовищ вони виснажились.

Отже, в аспекті захисту підземних вод під час видобування нафти і газу інжекційні процеси (привнесення у літосферу речовин, зокрема водних розчинів) проявляються у вигляді міжпластових перетікань і можливих грифоно-утворень та землетрусів, опріснення чи забруднення підземних вод і т.п., а ежекційні процеси (вилучання корисних копалин, зокрема і підземної води, і нафти, і газу) – енергетичного зубожіння запасів підземних вод (у т.ч. мінеральних вод), міжпластових перетікань флюїдів, засолення чи погіршення якості підземних вод і т.д.

Гідродинамічна характеристика перетікання вод. Перетікання техногенної води може відбуватися як зверху (із накопичувачів промстоків, нафтосховищ, сховищ бурових промивних рідин і хімреагентів, котлованів пошкоджених цистерн, водо - та нафтопроводів і т.д.), так і знизу (неякісно пробурені свердловини різного призначення, неякісна ізоляція окремих інтервалів стратиграфічного розрізу, негерметичні міжтрубні і затрубні простори внаслідок неякісного цементування, порушення регламентних норм під час освоєння, інтенсифікації припливу та експлуатації свердловин, літологічні “вікна” і таке інше). Але гідродинамічна характеристика потоків природної і техногенної води в пласті, куди перетікає вода, не зміниться.

Гідродинамічну характеристику цих потоків дослідимо структурою їх. Під структурою потоку (термін гідрогеології) розуміємо гідродинамічну (гідромеханічну) сітку (сітку фільтрації) як сукупність на горизонтальній (чи вертикальній) площині лінії рівних напорів (ізобар, еквіпотенціалей), проведених через задані інтервали зміни напорів, та ліній течій, дотичні до яких визначають напрям руху рідини в кожній точці [6, 3, 1].

Представимо канал перетікання свердловиною, рівновеликою по площі цьому каналу (негерметичний затрубний простір дефектної свердловини, літологічне “вікно”, канали в тріщині чи в розломі, котрі невідомі і реально не піддаються вимірюванню), з інтенсивністю потоку перетікання g (питомою витратою що припадає на одиницю товщини h пласта, в котрий перетікає вода). Такий пласт назовемо стогом-пластом, а свердловину – джерелом-свердловиною.

Рух частинок рідини в стоку-пласті відбувається під впливом природного потоку підземних вод і техногенного потоку із джерела-свердловини. Природний рух підземних вод враховуємо за лінійним законом Дарсі через його швидкість у швидкісній формі $v_{n_1} = K_\phi i_n$, де K_ϕ – коефіцієнт фільтрації (змінюється в межах $0,1-10^3$ м/добу); i_n – природний похил пласта (гідродинамічний похил, п’єзометричний похил, градієнт гідродинамічного напору, напірний градієнт).

Переміщення вод у пласті припускаємо в умовах усталеного режиму фільтрації. Це припущення обґрунтовується тим, що збурення тиску в пласті відбувається набагато швидше, ніж саме переміщення підземних вод, а також спеціальними розрахунками тривалості часу руху підземних вод за умов усталеного і неусталеного режимів фільтрації в нескінченному пласті (похибка в часі не виходить за межі 3–4 % [6]).

Невелика різниця в мінералізації прісної (природної) і солоної (техногенної) води (за мінералізації 1 г/л і температури 20°C в’язкість і густина води відповідно рівні 1 сПз та 1 г/см³, за мінералізації 40 г/л – відповідно 1,04 сПз та 1,02 г/см³, тобто збільшуються в 1,04 та в 1,02 рази (мінералізація солоних ґрунтових вод рідко перевищує 50 г/л, зазвичай становить 5-15 г/л) [6], тому наближено, враховуючи похибки в інших величинах, систему прісні-солоні води можна вважати однорідною з густиною і в’язкістю прісної води.

Формуванням «язика» солоних (техногенних) вод у пласті прісної води під дією різниці густин (за умови, що початкова границя розділу цих вод була вертикальною) на основі даних багатьох досліджень [6] можна знехтувати.

Також можна знехтувати різницею в проникностях для прісних і солоних вод у піщаних відкладах та тріщинуватих породах [6].

Похибка в оцінці переміщення границі солоних вод без урахування конвективної дифузії (фільтраційної дифузії, дисперсії) буде незначною [6]. Систему прісні-солоні води наближено можна розглядати як однорідну; фільтраційні властивості порід стоку-пласта можна приймати однаковими для прісних і солоних вод, тобто дослідимо одночасний рух так званих «різноколірних рідин».

Для дослідження використаємо метод комплексного потенціалу (характеристичної функції) [1, 7, 12], за яким комплексний потенціал:

$$F(z) = \Phi(x, y) + i\Psi(x, y), \quad (5)$$

котрий виражається через спряжені гармонічні функції $\Phi(x, y)$ та $\Psi(x, y)$ в області комплексної змінної:

$$z = x + iy, \quad (6)$$

де $\Phi(x, y)$, $\Psi(x, y)$ – функції відповідно потенціалу і течії; x, y – просторові декартові координати; i – уявна одиниця.

Природний потік підземної води в стоку-пласті розглядаємо, як прямолінійно-паралельний потік у напрямі вздовж осі x комплексний потенціал якого виражається функцією [1]:

$$F_1(z) = a_1 z + b_1, \quad (7)$$

де a_1, b_1 – дійсні або комплексні змінні.

Комплексний потенціал точкового джерела, що імітує джерело-свердловину і розміщене в центрі координат:

$$F_2(z) = \frac{q}{2\pi} \ln z + b_2, \quad (8)$$

де q – витрата (інтенсивність) потоку техногенної води із джерела свердловини, що припадає на 1 м товщини стоку-пласта; b_2 – комплексна або дійсна змінна.

На природний потік накладається потік від джерела. Оскільки функції $\Phi(x, y)$, $\Psi(x, y)$, як спряжені функції, задовольняють рівнянню Лапласа і зв'язані між собою рівняннями Коші-Рімана, Ейлера-Даламбера, то комплексні потенціали також можна додавати за методом суперпозиції [1], тобто:

$$F(z) = F_1(z) + F_2(z) + c, \quad (9)$$

де c – деяка постійна.

Похідну $\frac{dF_1(z)}{dz}$ – називають комплексною швидкістю і вона дорівнює модулю швидкості фільтрації v .

Тоді комплексний потенціал набуває вигляду:

$$F(z) = -vz - \frac{q}{2\pi} \ln z + c, \quad (10)$$

Або після подання комплексної координати того ж потоку в показниковій формі:

$$F(z) = -vre^{i\theta} - \frac{q}{2\pi} \ln(re^{i\theta}) + c, \quad (11)$$

де r , θ – полярні координати довільної точки потоку; $|z| = \sqrt{x^2 + y^2} = r$.

Оскільки із використанням формули Ейлера і показникової формули $re^{i\theta} = r(\cos \theta + i \sin \theta)$, то відділивши в одержуваному виразі дійсні частини від уявних, знаходимо:

$$\Phi(x, y) = -vr \cos \theta - \frac{q}{2\pi} \ln r + c', \quad (12)$$

$$\Psi(x, y) = -vr \sin \theta - \frac{q}{2\pi} \theta + c''. \quad (13)$$

Поклавши в останніх виразах $\Phi(x, y) = \text{const}$ і $\Psi(x, y) = \text{const}$, одержуємо рівняння еквіпотенціальних ліній та ліній течії. Тобто в площині декартових координат (x, y) матимемо структуру загального потоку.

Для аналізу структури потоку розглянемо наступні три випадки: а) відсутність перетікання техногенної води; б) відсутність фільтрації природної води; в) наявність потоку природної води і перетікання техногенної води.

1. *Відсутність перетікання техногенної води.* Припустимо, що перетікання рідини в пласт відсутнє, тобто $q = 0$, а спостерігається тільки рух природної води зі швидкістю фільтрації v_n .

Тоді записуємо комплексний потенціал:

$$F(z) = F_1(z) = -v_n z + c_1 = -v_n(x + iy) + c_1, \quad (14)$$

звідки маємо функції:

$$\Phi(x, y) = -v_n x + c_1', \quad (15)$$

$$\Psi(x, y) = -v_n y + c_1''. \quad (16)$$

Рівняння еквіпотенціалі буде за $\Phi(x, y) = \text{const}$, а саме при $x = \text{const}$.

Оскільки

$$-v_n x + c_1' = \text{const}, \quad (17)$$

то

$$x = \frac{d'_1}{v_n}, \quad (18)$$

де $d'_1 = \text{const}$.

Це останнє рівняння описує сім еквіпотенціальних горизонтальних ліній, котрі паралельні осі y , а отримуємо їх, надаючи різних числових значень постійній d'_1 .

Для функції течії можна аналогічно записати $\Psi(x, y) = \text{const}$:

$$-v_n y + c'_1 = \text{const}, \quad (19)$$

$$\text{звідки} \quad y = \frac{d'_1}{v_n}, \quad (20)$$

$$\text{або} \quad y = \text{const}, \quad (21)$$

де $d''_1 = \text{const}$.

Це рівняння є рівнянням прямих, паралельних осі x і паралельних до напрямку фільтрації природного потоку, а надаючи різних числових значень постійній d'_1 і d''_1 задаються за арифметичною прогресією (з однаковими приростами).

Разом маємо прямокутну гідродинамічну сітку взаємно перпендикулярних ліній течії та еквіпотенціалей для такого одновимірного прямолінійно-паралельного потоку вздовж осі x із постійною швидкістю фільтрації підземних вод v_n як і закладено вище.

Побудуємо структуру потоку за таких даних. Коефіцієнт фільтрації K_ϕ змінюється в межах $0,1 \cdot 10^3$ м/добу (див. вище) задаємо гідродинамічний похил $i_n = 0,01$ тоді швидкість фільтрації $v_n = 10^2 \cdot 10^{-2} / 86400 = 1,15 \cdot 10^{-5}$ м/с, беремо $v_n = 10^{-5}$ м/с. для побудови гідродинамічної сітки додаємо $d'_1 = 0; \pm(10; 20; 30; 50) \cdot 10^{-5}$ м²/с і такі ж значення d''_1 . За формулами (18) і (20) розраховуємо координати x і y та будуємо гідродинамічну сітку, показану на рис. 1.

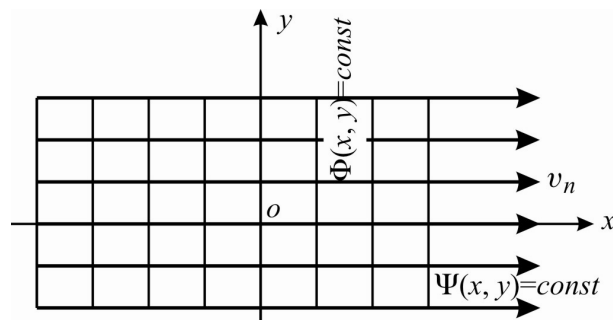


Рис.1. Структура прямолінійно-паралельного потоку природної води за відсутності перетікання інших вод

2. *Відсутність фільтрації природної води.* Припустимо, що швидкість фільтрації підземних вод $v_n = 0$ у стоку-пласті, тобто маємо умову “басейну”, названу не зовсім коректно В. М. Гольдбергом [6].

Тоді записуємо потенціальну функцію:

$$F(z) = F_2(z) = -\frac{q}{2\pi} \ln(re^{i\theta}) + c_2 = -\frac{q}{2\pi} (\ln r + i\theta) + c_2, \quad (22)$$

де $\ln(re^{i\theta}) = \ln r + i\theta; re^{i\theta} = z$.

Звідси маємо функції:

$$\Phi(x, y) = -\frac{q}{2\pi} \ln r + c'_2, \quad (23)$$

$$\Psi(x, y) = -\frac{q}{2\pi} \theta + c''_2, \quad (24)$$

Рівняння еквіпотенціалей буде за $\Phi(x, y) = \text{const}$, тобто за $r = \text{const}$:

$$-\frac{q}{2\pi} \ln r + c'_2 = \text{const}, \quad (25)$$

так як

$$\frac{q}{2\pi} \ln r + d'_2, \quad (26)$$

або

$$r = \exp\left(\frac{2\pi d'_2}{q}\right), \quad (27)$$

де $d'_2 = \text{const}$.

Рівняння $r = \text{const}$ є рівнянням кола з центром на початку координатних осей $(r = \sqrt{x^2 + y^2})$, а задаючи різні числові значення постійній d'_2 , отримуємо сім'ю еквіпотенціалей. Оскільки перехід від еквіпотенціалі (ізобари) до еквіпотенціалі здійснюється в арифметичній прогресії, то радіуси повинні змінюватися в геометричній прогресії.

Лінії течії отримуємо із функції $\Psi(x, y) = \text{const}$ за $\theta = \text{const}$, тобто:

$$\Psi(x, y) = -\frac{q}{2\pi} \theta + c''_2 = \text{const}, \quad (28)$$

$$-\frac{q}{2\pi} \arctg \frac{y}{x} + c''_2 = \text{const}, \quad (29)$$

$$\arctg \frac{y}{x} = \frac{2\pi d''_2}{q}, \quad (30)$$

або

$$y = \tg \frac{2\pi d''_2}{q} \cdot x, \quad (31)$$

де $d''_2 = \text{const}$.

Звідси випливає, що лінії течії є прямими лініями, котрі радіально виходять із початку координат під певним кутом θ , який відраховується від додатного напрямку осі x проти годинникової стрілки, і ортогональні до лінії рівного потенціалу, тобто потім є плоскорадіальний, що теж закладено вище.

Інтенсивність потоку взято зі знаком мінус, тобто $-q$, що відповідає, як це прийнято в гідродинаміці [1], точковому джерелу, із якого виходять лінії течії.

Функція течії характеризує частку потоку із каналу перетікання, котра надходить через кут:

$$\theta = \arctg \frac{y}{x}, \quad (32)$$

а його лінія течії проходить через деяку фіксовану точку $M(x, y)$.

Якщо точка $M(x, y)$ знаходиться на додатній частині осі x , то $\theta = 0$ та інтенсивність води перетікання через цей кут також рівна нулю. Якщо точка $M(x, y)$ розміщена на бісектрисі першого квадранта, то $\theta = \frac{\pi}{4}$ і частка інтенсивності через цей кут становить $\frac{1}{8}$ загальної інтенсивності q . Якщо точка $M(x, y)$ знаходиться на додатній частині осі y , то $\theta = \frac{\pi}{2}$ і частка інтенсивності рівна $\frac{q}{4}$. Якщо точка $M(x, y)$ знаходиться на від'ємній частині осі x , то $\theta = \pi$ і інтенсивність рівна $\frac{q}{2}$. Якщо ж лінія течії з точкою $M(x, y)$ зробить проти годинникової стрілки повний оберт і зійдеться із додатнім напрямом осі x , то $\theta = 2\pi$ і інтенсивність потоку через такий кут буде рівна q .

Дійсна (фізична) швидкість руху частинок води перетікання вздовж кожної лінії течії рівна:

$$w_{\text{д}} = \frac{q}{2\pi r m} , \quad (33)$$

де m – коефіцієнт пористості породи.

Із віддаленням від каналу перетікання швидкість зменшується обернено пропорційно відстані r , по всіх лініях течії зменшується однаково, при $r \rightarrow \infty$ швидкість $w_{\text{д}} \rightarrow 0$, при $r \rightarrow 0$ швидкість $w_{\text{д}} \rightarrow \infty$ (тобто потік має дві так звані точкові особливості при $r = \infty$ і $r = 0$). Відмітимо, що канал перетікання імітуємо на площині колом із радіусом r_c , яке те ж слід вважати ізобарою. Тиск вздовж кола, зрозуміло є різним, тобто він є функцією кута θ , але, як це ще у свій час доказав М. Маскет, його можна вважати середнім, а інтенсивність потоку при цьому не зміниться.

Побудуємо структуру такого потоку, задаючи такі величини: інтенсивність потоку техногенної води $q = 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$ (із розрахунку на 1 м товщини стоку пласта), радіус джерела-свердловини $r_c = 0,5 - 1 \text{ м}$ (як першої еквіпотенціалі); постійну d_2'' не задаємо, а лінії течії проводимо при кутах θ , рівних $0; \pi/4; \pi/2; 3\pi/4; \pi; 5\pi/4; 3\pi/2; \pi$ (розрахунок кутів виконуємо проти годинникової стрілки). Побудувавши еквіпотенціалі і лінії течії, отримуємо гідродинамічну сітку плоско-радіального потоку, показану на рис. 2.

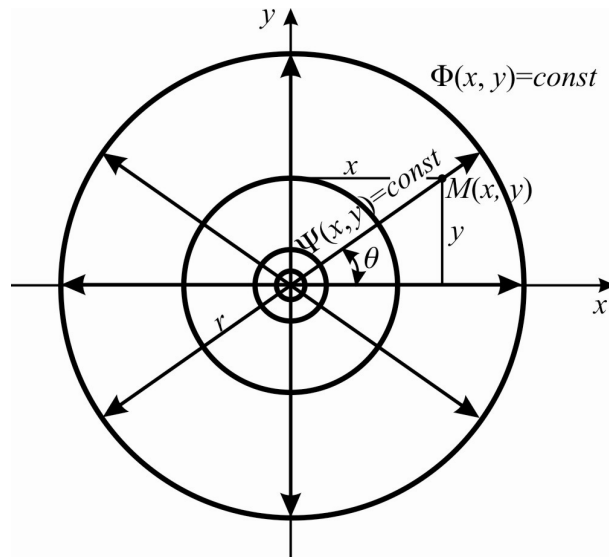


Рис. 2. Структура плоскорадіального потоку техногенної води в стоку-пласті за відсутності фільтрації природної води

3. Наявність потоку природної води і перетікання техногенної води.

Тепер повернемося до умови яка нас цікавить, наявність потоку підземної води у стоку-пласті ($v_n > 0$) і перетікання техногенної води з іншого пласта ($q > 0$).

Виведемо рівняння еквіпотенціалей із рівняння функції потенціалів:

$$\Phi(x, y) = -v_n r \cos \theta - \frac{q}{2\pi} \ln r + c' = \text{const} , \quad (34)$$

звідки послідовно отримуємо:

$$v_n r \cos \theta - \frac{q}{2\pi} \ln r = d_3' , \quad (35)$$

$$\cos \theta = \frac{x}{r} , \quad (36)$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} , \quad (37)$$

$$v_n x + \frac{q}{2\pi} \ln \sqrt{x^2 + y^2} = d'_3, \quad (38)$$

$$d'_3 = \text{const}.$$

Запишемо рівняння ліній течії із функції течії:

$$\Phi(x, y) = -v_n r \sin \theta - \frac{q}{2\pi} \theta + c'' = \text{const}, \quad (39)$$

звідки отримуємо послідовно рівняння ліній течії:

$$-v_n r \sin \theta - \frac{q}{2\pi} \theta = d_3, \quad (40)$$

$$\sin \theta = \frac{y}{r}, \quad (41)$$

$$\theta = \arctg \frac{y}{x}, \quad (42)$$

$$-v_n y - \frac{q}{2\pi} \arctg \frac{y}{x} = d''_3, \quad (43)$$

тобто:

$$y = x \operatorname{tg} \frac{2\pi(d''_3 - v_n y)}{q}, \quad (44)$$

де $d''_3 = \text{const}$.

Задаючи різні значення постійним d'_3 і d''_3 , знаходимо за способом послідовних наближень декартові координати ліній еквіпотенціалей та лінії течії, а з'єднуючи відповідні точки, для однакових постійних d'_3 і d''_3 отримуємо гідродинамічну сітку потоків. Для прикладу візьмемо $v_n = 10^{-5}$ м/с, $q = 10^{-3}$ м/с (див. вище п. 1 і 2).

Для розрахунків запишемо вираз (44) у вигляді:

$$l_n \sqrt{x^2 + y^2} = \frac{2\pi}{q} (d'_3 - v_n x), \quad (45)$$

або після підстановки вхідних даних в системі SI:

$$l_n \sqrt{x^2 + y^2} = \frac{2\pi}{10^{-3}} (d'_3 - 10^{-5} x). \quad (46)$$

Відмітимо, що нижня частина гідродинамічної сітки (нижче осі x) є дзеркальним відображенням верхньої частини.

Для побудови ліній течії запишемо вираз (44) у вигляді:

$$\frac{x}{y} = t_a \left[\frac{2\pi}{q} (d''_3 - v_n y) \right], \quad (47)$$

або

$$\frac{x}{y} = t_a \left[\frac{2\pi}{10^{-3}} (d''_3 - 10^{-5} y) \right]. \quad (48)$$

Побудувавши еквіпотенціали і лінії течій, отримуємо гідродинамічну сітку двох, “накладених” один на одного за принципом суперпозиції потоків-прямолінійно-паралельного і плоско радіального, показану на рис. 3.

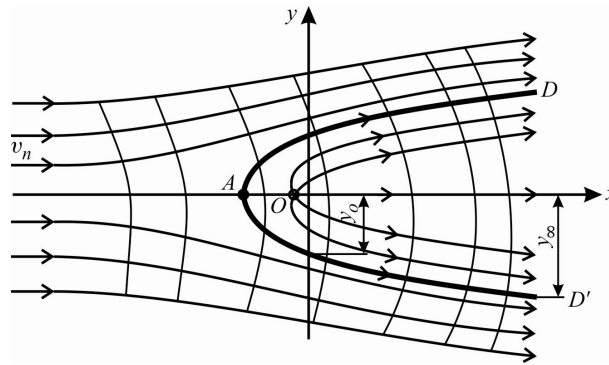


Рис. 3. Структура потоків природної води і техногенної води (із джерела свердловини)

Еквіпотенціали дещо деформовані наявністю джерела-свердловини (порів із рис. 1). Головна лінія течії – вісь x , наявність природного потоку підземних вод зумовлює структуру потоку, котра істотно відрізняється як від розглянутої вище у п. 2 за відсутності природного потоку підземних вод, так і за відсутності перетікання (п. 1).

Розглянемо лінію течії, яка ділить транзитний природний потік від потоку джерела перетікання. Для неї кут $\theta = \pi$ (див. вище п. 2), $\frac{y}{r} = \sin \theta$, а $y = r \sin \theta = 0$ так як $(\sin \pi = 0)$, а витрата дорівнює $\frac{q}{2}$, тобто $c'' = \frac{q}{2}$. Отже рівняння цієї лінії буде:

$$v_n r \sin \theta + \frac{q}{2\pi} \theta = \frac{q}{2}. \quad (49)$$

Лінія течії складається із двох частин: одна при $\theta = \pi$ є від'ємна піввісь x , друга крива – крива AD, рівняння якої записуємо із останнього виразу, розв'язавши його відносно r :

$$r = \frac{q}{2\pi v_n} \frac{\pi - \theta}{\sin \theta}. \quad (50)$$

При $\theta = \pi$ крива AD проходить через водороздільну точку A, яка розміщена на від'ємній півосі абсцис x на відстані:

$$x_A = \frac{q}{2\pi v_n}, \quad (51)$$

і в якій результуюча швидкість фільтрації, що складається із швидкості природного потоку і швидкості перетікання, рівна нулю.

На лінії каналу перетікання (при $x = 0$) і на віддаленні від нього вздовж потоку (при $x \rightarrow \infty$) ширина потоку перетікання відповідно рівна:

$$y_0 = \frac{q}{4\pi v_n}, \quad (52)$$

$$y_\infty = \frac{q}{2\pi v_n}. \quad (53)$$

В інших точках ширина потоку перетікання визначається за положенням нейтральної лінії течії AD. Із останніх виразів витікає, що ширина потоку перетікання зростає із збільшенням x та інтенсивності перетікання q і зменшенням швидкості фільтрації природного потоку v_n .

При $v_n \rightarrow 0$ ширина потоку перетікання зростає до нескінченності і охоплює весь пласт, що відповідає розглянутій вище умові в п. 2.

Форма ліній течії в зоні руху рідини перетікання зумовлена діями джерела-свердловини і природного потоку.

Для малих значень x та y (тобто поблизу джерела-свердловини) вираз для лінії течії шляхом заміни котангенса тангенсом * його аргументом зводиться до вигляду:

$$\frac{x}{y} = \frac{q}{2\pi(d_3'' - v_n y)}, \quad (54)$$

$$x = \frac{2\pi d_3''}{q} - y \frac{2\pi v_n}{q} = y, \quad (55)$$

а відтак, нехтуючи добутком x, y як величиною другого порядку малості порівняно з x та y , отримуємо

$$y = \frac{2\pi d_3''}{q} x. \quad (56)$$

Тобто отримуємо рівняння прямих, котрі виходять із початку координат, що характерно для плоско-радіального потоку.

При великих значеннях x відношення $\frac{x}{y} \rightarrow 0$, оскільки величина y є обмеженою (див. вище вирази для y_0 та y_∞). Тоді із рівняння течії отримуємо:

$$\frac{2\pi d_3''}{q} - y \frac{2\pi v_n}{q} = 0, \quad (57)$$

або

$$y = \frac{d_3''}{v_n} = \text{const}, \quad (58)$$

тобто, лінії течії на великій відстані від джерела-свердловини є прямими лініями, паралельними осі x , як і при прямолінійно-паралельному потоці (див. рис. 1).

Значить поблизу джерела-свердловини переважає перша дія (дія техногенного потоку) і потік буде близьким до плоско-радіального потоку, як і в умовах відсутності природного потоку підземних вод.

Горизонтальна і вертикальна складові швидкості фільтрації із $\Phi(x, y)$ чи $\Psi(x, y)$ записуються як похідні із них:

$$v_x = v_n + \frac{q}{2\pi} \frac{x}{x^2 + y^2}, \quad (59)$$

$$v_y = \frac{q}{2\pi} \frac{y}{x^2 + y^2} = \frac{q}{2\pi} \frac{\sin \theta}{r}, \quad (60)$$

або

$$v_y = \frac{v_n \sin^2 \theta}{\pi - \theta}. \quad (61)$$

Лінії течії, що заходять в область від'ємних значень x , мають точку перетину, про що свідчить зміна знаку в складовій швидкості v_x в інтервалі $x < 0$, а наявність точок перегину зумовлює конфігурацію ліній течії. У точці перегину $v_x = 0$. Із цієї умови знаходимо координату y_n точок перегину ліній течії потоку від джерела-свердловини в залежності від x :

$$y_n = \pm \sqrt{\frac{q}{2\pi v_n} x - x^2}, \quad (62)$$

або

$$y_n = \pm \sqrt{x_A x - x^2}. \quad (63)$$

Останні вирази завжди дійсні, так як $x_A x > x^2$, бо $|x_A| > |x|$.

Оцінка якості змішаних вод. При перетіканні вод між пластами вода, яка виходить із природного (чи штучного джерела), безсумнівно, так чи інакше змінюється внаслідок

змішування в стоку-пласті, хімічним (солевмістом, іонним складом, лужністю і жорсткістю, вмістом токсичних речовин, вуглеводнів в т.д.), фізичним (вмістом завислих частинок, запахом, присмаком, кольоровістю) і санітарно-біологічними (бактеріями та вірусами) показниками [14].

Води природні і техногенні цих пластів можуть бути в першу чергу різної мінералізації і різних генетичних типів за В. О. Суліним – сульфатно-магнієві (зона вільного водообміну), гідрокарбонатно-натрієві (зони вільного і утрудненого водообміну), хлоридно-магнієві (зона утрудненого водообміну), хлоридно-кальцієві (зона відсутності і утрудненого водообміну) [2]. У зоні вільного водообміну (до глибин 300–700 м) води, звичайно, прісні і слабо мінералізовані із вмістом переважно атмосферних газів (азоту, кисню, діоксиду вуглецю), а у зоні утрудненого водообміну (на глибинах 500–1500 м) залягають води різного типу з більшою мінералізацією (5–10 г/л), в яких розчинені гази мішаного (азотовуглеводневого і вуглеводневого азотного) складу. Води зон застійного режиму (на глибинах 1500–4000 м і більше) мають підвищену температуру (40–100°C) і високо мінералізовані (десяти-перші сотні грамів на літр). Зміна якості води в природному джерелі буде визначатися витратою солоних (техногенних) вод q , тобто вод котрі перетікають, у загальному дебіті цього джерела q_d .

Витрату солоних вод q можна оцінити або за зміною вимірюваного загального дебіту джерела до і після перетікання, або з використанням функції течії $\Psi(x, y)$, записавши потік води через довільну криву L у площині x, y через різницю значень функцій течії на кінцях цієї кривої, тобто:

$$q(x, y) = \int d\Psi = \Psi(x_2, y_2) - \Psi(x_1, y_1), \quad (64)$$

де (x_1, y_1) і (x_2, y_2) – початкова і кінцева точки кривої L .

Витрату солоних вод за цією формулою можна визначити, якщо початкові (x_1, y_1) і кінцеві (x_2, y_2) координати розглядати як координати точок межі розділу природних і технічних вод, тобто за шириною фронту техногенних вод, які надходять у природне джерело.

А. Н. Огільві показав, що при змішування двох різних вод – першої (умовно назвемо прісної) і другої (солоні) – хімічний склад води-суміші підпорядковується прямолінійному рівнянню вигляду $s = af + b$ де s і f – вміст двох яких-небудь складових частин в заданому об'ємі води; a і b – параметри, постійні для всієї групи водо-сумішей [11].

На основі цього рівняння побудовано для визначення складу води-суміші так звану діаграму змішування. Діаграма змішування представляє собою графіки довільного масштабу, по осі абсцис відкладається частка кожної із змішуваних вод у складі суміші, розпочинаючи від 100 % вмісту першої води до 100 % другої води. Із крайніх точок, які відповідають змішуваним водам, проводять дві вертикальні лінії, на яких відкладають величини вмісту різних компонентів, для першої води – по лівій лінії, для другої – по правій. Точки однакових компонентів (іонів N_a^+ , C^{2+} , M_d^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} і т.д.) з'єднують прямими лініями, які показують вміст даного компонента на всьому діапазоні змішування.

Використовуючи діаграму змішування і знаючи хімічний склад води-суміші, не трудно визначити пропорцію вмістів змішуваних вод. Вона буде відповідати абсцисі тої точки прямої вмісту якого-небудь компонента, ордината якого рівна вмісту цього компонента в суміші.

Інколи зручніше використовувати діаграми, по осі абсцис яких відкладається мінералізація вод (чи інші параметри) та їх сумішей.

А. Р. Ахундов запропонував формулу для визначення пропорції двох змішуваних вод у складі води-суміші:

$$q \frac{(x, y)}{q_d} = \frac{c(x, y) - c_o}{c_1 - c_0}, \quad (65)$$

де $c(x, y)$, c_0 , c_1 – вміст якого-небудь компоненту відповідно у солоній воді, у прісній воді та у воді-суміші. Нагадаємо, що тут q_d – загальна витрата води-суміші (із розрахунку на 1 м товщини стоку-пласта), що надходить у природне джерело.

Для підвищення точності визначення можна брати вміст вихідних вод у суміші не по одному компоненту іонно-сольового складу, а по всіх головних компонентах і знаходити як середньоарифметичну величину по окремих компонентах (хлору, натрію, барію і т.д.).

Відмітимо, що такий розрахунок пропорцій змішуваних вод можливий лише в такому випадку, якщо при цьому не відбувається випадання осадів або виділення газів внаслідок хімічних реакцій. Так, при змішуванні несумісних вод аніони Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} внаслідок взаємодії можуть давати тверді погано розчинні осадки – сульфати із катіонами Ca^{2+} (гіпс або ангідрит у вигляді осаду), стронцію Sr^{2+} (целестин), барію Ba^{2+} (барит) та карбонати із катіонами Ca^{2+} (кальцит) і магнію Mg^{2+} (магнезит), а при утворенні карбонатів ще й виділяється газ – діоксид вуглецю CO_2 .

Напрямки екологічного захисту підземних питних (чи мінеральних) вод від забруднення внаслідок перетікання. До належних охороні підземних вод входять прісні води, мінеральні лікувальні води, мінеральні промислові води, термальні води. Задачі раціонального водокористування підземних вод насамперед вимагають їх охорони від забруднення (в стоку-пласті) і виснаження (у пласті, з якого перетікає чи відбирається вода). Виснаження підземних вод відбувається міжпластових перетіканнях, самовиливаннях на поверхню, порушеннях правил і режиму буріння свердловини, розробці нафтових і газових родовищ як без підтримування пластового тиску, так і з підтримуванням, а також при порушенні гідродинамічної рівноваги в геологічному середовищі та між поверхнею Землі і геологічним середовищем [4]. В основах водного законодавства [14] і в галузевих нормативних документах юридично закріплено основні принципи екологічної політики, зокрема і щодо захисту підземних вод. Ми акцентуємо увагу тільки на питаннях, пов'язаних із міжпластових (зверху чи знизу) перетіканнями вод.

1 Перед будь-якими роботами, пов'язаними із прониканням в геологічне середовище (в літосферу) на будь-яку глибину (починаючи від приповерхневих шарів, наприклад, при копанні котлованів) необхідно скласти реєстр можливих джерел забруднення підземних вод.

2 Різними методами виявляти можливі канали перетікання води, витікання води на поверхню (з аналізом її властивостей і складу).

3 Виконувати ретельний і постійний гідрогеологічний моніторинг.

4 Виявлені канали перетікання вод негайно ліквідувати (у разі фізичної можливості, наприклад канали неякісно пробуреної свердловини).

5 У випадку перетікання некондиційної води (чи нафти) створити умови для усунення перетікання (наприклад, при заводненні нафтового родовища) або для відбору некондиційної води відносно інших, придатних для водоспоживання.

Висновки.

1 Міжпластові перетікання вод різного хімічного складу та із різними фізичними і санітарно-біологічними властивостями, без сумніву, можуть спричинювати як їх забруднювання, так і зубожіння запасів.

2 Міжпластові перетікання розглянуто як гідродинамічну задачу.

3 Перетікання води (названо її техногенною) у пласт природної (тобто не порушеної в процесі діяльності людини) можливо за наявності перепаду зведених тисків (зведених до одної площини порівняння), каналів перетікання та гідравлічної відкритості (аккумуляційної здатності) стоку-пласта. Виконано аналіз цих умов.

4 Гідродинамічну характеристику потоків природної води і техногенної води досліджено їх структурою (гідродинамічною сіткою) потоку в стоку-пласті із використанням методу комплексного потенціалу (на основі спряжених функцій потенціалу і течії) і методу суперпозиції. Виконано аналізи структури потоків для трьох випадків – відсутності перетікання, відсутності потоку природної води і наявності потоків природної і техногенної вод. Подано приклади розрахунків і структур потоків.

5 Розглянуто методи розрахункової оцінки якості змішаних вод, у першу чергу за іонним та мінеральними складами.

6 Сформульовано напрямки екологічного захисту підземних вод щодо негативної зміни їх якості.

7 Перспектива подальших досліджень пов'язується із дослідженням потоків за інших граничних умов і з деталізацією напрямків екологічного захисту підземних вод

Література

- 1 Бойко В. С. Підземна гідрогазомеханіка / В. С. Бойко, Р. В. Бойко. – Львів : Апріорі, 2007. – 452 с.
- 2 Бойко В. С. Розробка та експлуатація нафтових родовищ / В. С. Бойко. – Київ: Міжнародна економічна фундація, 2008. – 488 с.
- 3 Бочевєр М. Ф. Основы гидрогеологических расчетов / М. Ф. Бочевєр, И. В. Гармонов, А. В. Лебедев, В. М. Шестаков. Москва: Недра, 1969. – 368 с.
- 4 Воды нефтяных и газовых месторождений СССР / Под ред. Л. М. Зорькина. – Москва: Недра, 1989. – 382 с.
- 5 Гальперин А. М. Гидрогеология и инженерная геология / А. М. Гальперин, В. С. Зайцев, Ю. А. Норватов. – Москва: Недра, 1989. – 383 с.
- 6 Гольдберг В. М. Гидрогеологические прогнозы качества подземных вод на водозаборах / В. М. Гольдберг. – Москва: Недра, 1976. – 153 с.
- 7 Голубева О. В. Курс механики сплошных сред / О. В. Голубева. – Москва: Высшая школа, 1972. – 368 с.
- 8 Гусейн-заде М. А. Упругий режим в однопластовых и многопластовых системах / М. А. Гусейн-Заде, А. К. Колосовская. – Москва: Недра, 1972. – 456 с.
- 9 Жернов И. Е. Динамика подземных вод / И. Е. Жернов. – Киев: Вища школа, 1982. – 324 с.
- 10 Карцев А. А. Нефтегазовая гидрогеология / А. А. Карцев, С. Б. Вагин, В. П. Шургин. – Москва: Недра, 1992. – 208 с.
- 11 Кашавцев В. Е. Предупреждение солеобразования при добыче нефти и газа / В. Е. Кашавцев, Ю. П. Гаттенбергер, С. Ф. Люшин. – Москва: Недра, 1985. – 215 с.
- 12 Краснов М. Л. Функции комплексного переменного. Операционное исчисление. Теория устойчивости / С. Л. Краснов, А. И. Киселев, Г. И. Макаренко. – Москва: Наука, 1981. – 304 с.
- 13 Толстой М. П. Геология и гидрогеология / М. П. Толстой, В. А. Малыгин. – Москва: Недра, 1988. – 318 с.
- 14 Яковлев С. В. Рациональное использование водных ресурсов / С. В. Яковлев, И. В. Прозоров, Е. Н. Иванов, И. Г. Губий. – Москва: Высшая школа, 1991. – 400 с.

© В. С. Бойко,
О. М. Мандрик,
А. І. Зельманович

*Надійшла до редакції 30 листопада 2017 р.
Рекомендував до друку
докт. техн. наук Я. М. Семчук*

ЕКОЛОГІЯ ПЕДОСФЕРИ

УДК 631.468:622.276 (477.53)

*М. Ю. Журавель¹, І. П. Леженіна²,
Н. Ю. Полчанінова³, В. В. Яременко⁴*

¹ТОВ «СВНЦ Інтелект-сервіс ЛТД»,

²Харківський національний аграрний
університет ім. В. В. Докучаєва,

³Харківський національний
університет ім. В. Н. Каразіна,

⁴СП «Полтавська газонафтова компанія»

ЗАСТОСУВАННЯ ЗООЛОГІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ ЧОРНОЗЕМНИХ ҐРУНТІВ НА ТЕРИТОРІЇ ГАЗОНАФТОВИХ РОДОВИЩ

У роботі розглянуто видовий і кількісний склад ґрунтових безхребетних (мезофауна) на рекультивованих бурових майданчиках нафтогазових свердловин у Полтавській області. Встановлено, що у процесі будівництва бурового майданчика відбувається майже повне знищення ґрунтових безхребетних. Першими заселяють рекультивовані ґрунти личинки комах-фітофагів, потім з'являються черви-енхитреїди, а розселення дощових червиль відбувається найповільніше. Біорізноманіття та щільність безхребетних у ґрунті зростають поступово і сягають фонових значень лише після восьмого року рекультивації. Малощетинкові черви Lumbricidae та Enchytraeidae, а також личинки жуків-коваликів (Elateridae) рекомендовані як індикатори під час моніторингу рекультивованих земель.

Ключові слова: бурові майданчики, рекультивація ґрунтів, мезофауна, дощові черви, енхитреїди, ковалики.

Species and quantitative composition of soil invertebrates (mesofauna) at reclaimed drilling sites of the oil and gas wells in the Poltava Region is considered. It was established that the soil invertebrates had been almost eradicated during the process of the well site construction. The larvae of phytophagous insects were the first to colonize the reclaimed soil. Then, the enchytreid worms appeared, and the earthworms spread most slowly. The invertebrate biodiversity and density in the soil increased gradually and reached the level of control plots only after the eighth year of reclamation. Oligochaeta worms Lumbricidae and Enchytraeidae, as well as click beetle larvae (Elateridae), are recommended as indicators for the land reclamation monitoring.

Keywords: drilling sites, soil reclamation, mesofauna, earthworms, enchytreids, click beetles.

Постановка проблеми. При зростанні потреби людства в енергетичних ресурсах пошук балансу між розвитком нафтовидобувної промисловості та збереженням природного середовища стає дедалі актуальнішим [13]. Негативний вплив виробничого процесу на довкілля може бути пом'якшений за рахунок певних заходів, спрямованих на рекультивацію ґрунтів і компенсацію біорізноманіття на землях, що використовуються. Такі дії мають стати обов'язковою складовою процесів видобутку нафти та газу [13, 22]. Основні типи видобувної діяльності у різних кліматичних, ландшафтних і локальних умовах не дають змоги розробити єдиний оптимальний протокол відновлення земель. Кожний район розвідки та видобутку нафти й газу має бути оцінений окремо, щоб визначити, які методи можуть бути доцільними у певних умовах [21].

Система відновлення ландшафту та оцінювання органо-мінеральних компонентів краще розроблена для гірничовидобувної промисловості [14, 17, 21]. На рекультивованих породних відвалах вивчається стан майже усіх компонентів біоти [10, 19, 20], тоді як подібні дослідження на нафтогазових родовищах вкрай нечисленні. Є відомості щодо органічної складової земель біля покинутих свердловин [12], особливостей ґрунтів на рекультивованих бурових майданчиках [4, 5], продуктивності сільгоспкультур після внесення органічних компонентів до складу рекультивованого ґрунту [25], описані рослинні угруповання, що утворюються на місцях майданчиків буріння [23].

Дослідження зоологічного компоненту починаються тільки тоді, коли нафта вже розлилася, і шкода доквітлю була заподіяна [7, 15, 24]. Водночас використання ґрунтової біоти як біоіндикатора дає змогу простежити успішність і швидкість відновлення ґрунтів. Беручи до уваги тісний і чітко виражений зв'язок педобіонтів із окремими фізико-хімічними ґрунтовими характеристиками та їхніми змінами, можна діагностувати стан ґрунту на різних стадіях впливу природних та антропогенних чинників [1, 6]. При цьому біоіндикація проводиться з використанням всього комплексу тваринного населення – кліщів, комах та їх личинок, черв'яків, багатоніжок. Залежно від розміру ґрунтових безхребетних їх поділяють на мікро- та мезофауну. За класифікацією М. С. Гілярова [1], до мезофауни належать безхребетні розміром від декількох міліметрів до декількох сантиметрів. Великі безхребетні (дошові черви, черви-енхитреїди, личинки комах) є класичним об'єктом ґрунтових зоологічних досліджень і використовуються для моніторингу навколишнього середовища. Відновлення різних компонентів мезофауни відбувається неоднаковими темпами, тому кожна група має свою цінність у індикації. [1, 16, 18].

Щільність і структура ґрунту мають суттєве значення для життєдіяльності безхребетних [6]. Від розмірів та об'ємів порожнин у ґрунті залежить постачання глибоких шарів киснем, крім того на ущільнених ґрунтах обмежується пересування багатьох видів мезофауни. Землі сільськогосподарського використання освоюють безхребетні, здатність яких рити ходи доволі обмежена, вони переважно використовують природні порожнини. Тому на ущільнених ґрунтах для таких видів утворюються несприятливі умови, особливо для вертикальних сезонних міграцій. Наприклад, ковалики роду *Agriotes* на зимовий період мігрують на глибину до 90 см, влітку міграції обмежуються шаром 3–20 см [11]. Слід відзначити, що незважаючи на інформативність зоологічної діагностики, її майже не застосовували при дослідженні процесів відновлення ґрунтів на рекультивованих ділянках газонафтових свердловин.

Аналіз останніх досліджень. В Україні зоологічну діагностику ґрунтів на землях газонафтових родовищ було вперше здійснено авторами у 2011 році. Нами встановлено, що порушення ґрунту в результаті облаштування газонафтових свердловин негативно впливає на мезофауну як суто ґрунтових, так і герпетобіонтних безхребетних [2, 3]. За результатами проведених спостережень, для моніторингу відновлення ґрунтів був рекомендований облік загальної щільності ґрунтової мезофауни та окремих її компонентів (дошових черв'яків, личинок жуків-коваликів). Проте, для уточнення запропонованих показників необхідно було провести дослідження як на щойно рекультивованих бурових майданчиках, так і на майданчиках з довготривалою рекультивацією. До того ж залишалися відкритими питання впливу вологості та щільності ґрунту на мезофауну безхребетних.

Мета і завдання досліджень. Мета дослідження – надати оцінку стану ґрунтів різних строків рекультивації з використанням методу зоологічної діагностики.

В ході роботи вирішували такі завдання:

- виявити особливості процесу відновлення ґрунтів із використанням таких характеристик мезофауни як видовий склад, щільність, екологічне різноманіття;
- оцінити вплив щільності та вологості ґрунту на мезофауну безхребетних;

- визначити основні діагностичні показники ґрунтової мезофауни для моніторингу стану ґрунтів.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проведені на орних землях Полтавської області у межах Ігнатівського (свердловини № 140, № 134) та Руденківського (свердловина № 103) нафтогазових родовищ.

Процеси відновлення ґрунтової мезофауни на бурових майданчиках вивчали на ділянках із різним терміном рекультивації (повернення ґрунту), а саме:

- свердловина № 140, повернення ґрунту в лютому 2016 р., посіяний соняшник;
- свердловина № 103, повернення ґрунту у 2014 р., посіяна кукурудза;
- свердловини № 134, повернення ґрунту у 2008 р., посіяна соя.

На кожній дослідній і на відповідній фоновій ділянці, розташованій на відстані 500 метрів від бурового майданчика, у період з 19 по 22 квітня 2016 р. було відібрано 20 проб ґрунту (25×25×30 см) для обліку мезофауни. Територіально зоологічні проби були пов'язані з пробами на аналіз ґрунту: радіально на відстані 3–4 м від кожної ями, де відбирали ґрунт, проводили ґрунтові розкопки. Таким чином, на кожній дослідній ділянці було відібрано п'ять аналітичних і 20 зоологічних проб ґрунту, а на фоновій ділянці – три аналітичні та 20 зоологічних проб.

Кожну ґрунтову пробу картували за допомогою GPS навігатора. Щільність ґрунту визначали як середнє між двома замірами на кожну точку за допомогою приладу WhileSoil (стандарт ASAES313.3, виробництво Фінляндії). Вологість ґрунту визначали за загальноприйнятою методикою [1] на основі порівняння ваги зразків вологого та висушеного ґрунтів. Обчислювали середнє між двома значеннями на глибині 30 см.

Ґрунт для зоологічного аналізу вибирали з прикопки лопатою, розміщували на поліетиленовій плівці та розбирали вручну. Знайдених безхребетних разом із етикеткою вміщували у 70 % розчин етилового спирту. Дошових черв'яків збирали окремо у 10 % розчин формаліну. Після збирання безхребетних ґрунт повертали у прикопку.

Подальше визначення зібраного матеріалу та статистичну обробку проводили у лабораторних умовах.

Для аналізу екологічного різноманіття безхребетних на різних ділянках визначили індекс Шеннона [8] та підраховували кількість особин основних систематичних груп – Enchytraeidae, Lumbricidae, Myriopoda, Diplopoda, Elateridae, Scarabaeidae. Середні значення індексу Шеннона та чисельність особин застосовані для графічного та статистичного аналізу даних.

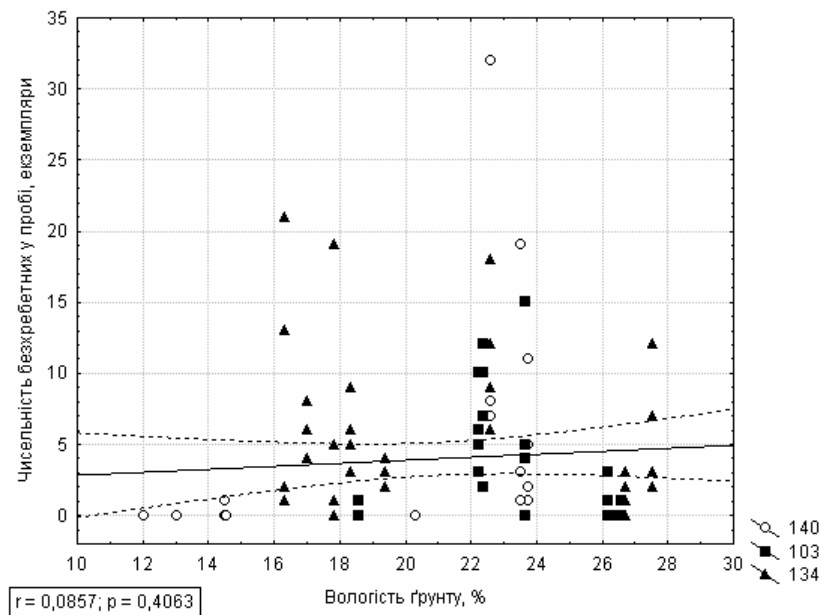
Для оцінювання залежності чисельності безхребетних від вологості та щільності ґрунту побудовані діаграми відповідностей. Для фонових ділянок, де кількість зібраних безхребетних була достатньою для обчислювання, розраховували коефіцієнт кореляції Пірсона [8].

Статистичний аналіз даних і побудову діаграм виконано у програмі Statistica 7.

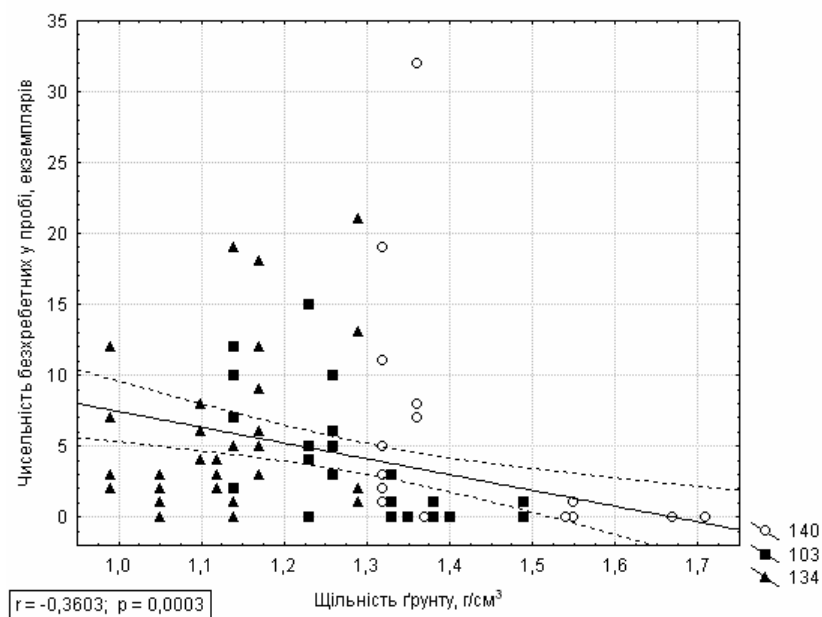
Результати досліджень та їх обговорення. Аналіз поширення безхребетних на фонових ділянках досліджуваних свердловин виявив, що кількісний склад мезофауни знаходиться у від'ємній кореляційній залежності від щільності ґрунту (рис. 1), ступінь зв'язку середня. Найбільша кількість безхребетних найдена у ґрунті зі щільністю 1,1–1,35 г/см³. Водночас, достовірної залежності щільності мезофауни від вологості ґрунту не виявлено (рис. 1). Хоча з літератури відомо, що саме підвищення температури та зменшення вологості ґрунту впливають на горизонтальний розподіл та сезонні вертикальні міграції безхребетних [1, 9, 11], у весняний період на орних землях ми такої залежності не виявили.

На рекультивованій ділянці свердловини 140 через два місяці після повернення ґрунту його щільність була знано вище і коливалася у значно вищих межах, ніж на фоновій ділянці (рис. 2, а). Після рекультивації тут був знайдений лише одна мертвий дощовий черв. Водночас, на фоновій ділянці загальна щільність мезофауни сягала майже 121 екз./м². Були виявлені личинки хлібного жука-кузьки (Scarabaeidae: *Anisoplia austriaca*

(Herbst, 1783)), ковалика степового (Elateridae: *Agriotesgurgistanus* (Faldermann, 1835), багатоніжки (Miriopoda) та кільчасті черви (Oligocheta: Lumbricidae). Найчисленнішими на фоновій ділянці були малощетинкові черви енхитреїди (Oligocheta: Enchytraeidae) (94,4 екз./м²). Ці черви розмножуються доволі швидко і за сприятливих гідротермічних умов здатні в короткий період значно підвищити щільність своєї популяції [9].



а)



б)

Рис. 1. Залежність чисельності ґрунтових безхребетних від вологості (а) та щільності (б) ґрунту на фонових ділянках біля свердловин 103, 134, 140.

Показано ступінь кореляції (r), лінію регресії та її 95% довірчий інтервал

Через два роки після повернення ґрунту на свердловині 103 його щільність ще залишалася більшою, ніж на непорушеній ділянці (рис. 2, б), але коливалася вже у менших межах. Для порівняння: через два місяця після рекультивції щільність ґрунту сягала 1,37–1,71 г/см³ а через два роки – 1,33–1,49 г/см³. На фонових ділянках вона становила 1,31–1,36 та 1,14–1,26 г/см³, відповідно.

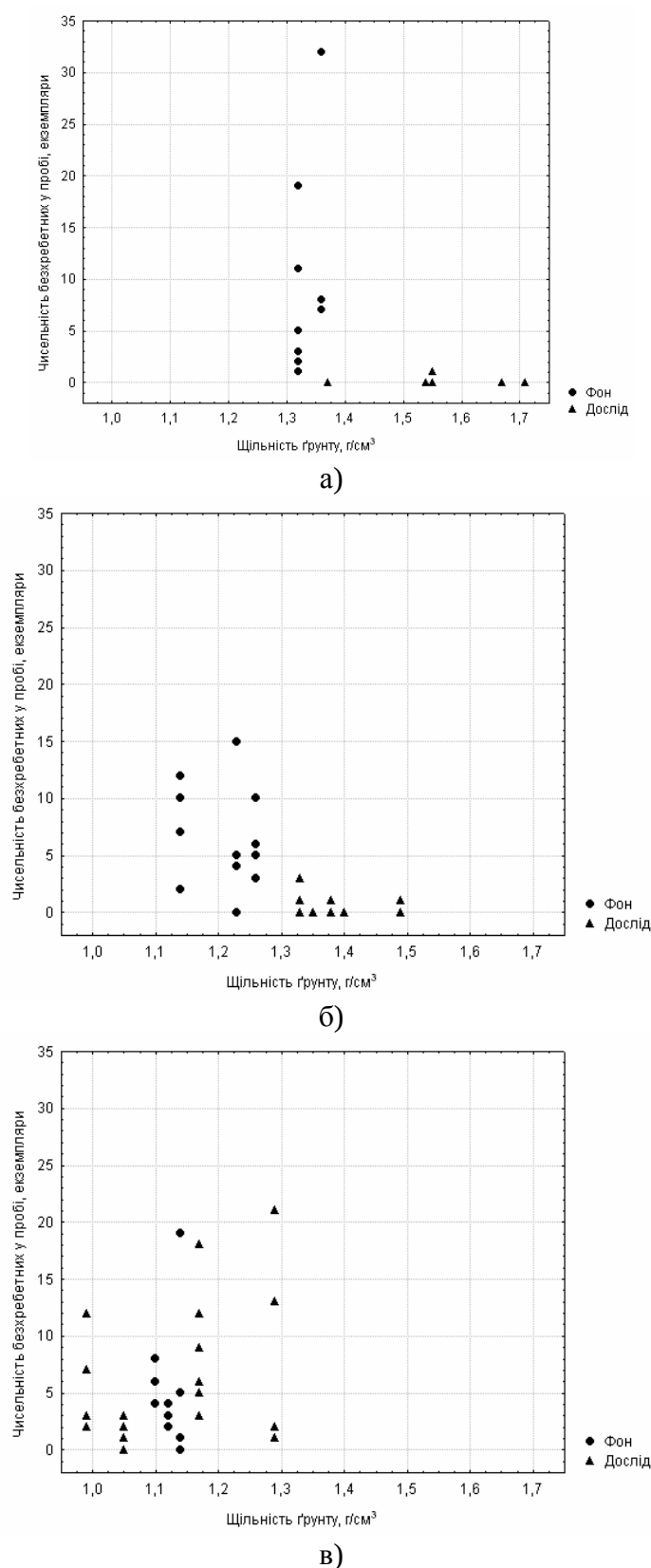


Рис. 2. Залежність чисельності безхребетних від щільності ґрунту на порушеній і фоновій ділянках (а – свердловина 140, два місяці після рекультивації, б – свердловина 103, два роки рекультивації, в – свердловина 134, вісім років рекультивації)

На ділянці з дворічною рекультивацією загальна щільність ґрунтової мезофауни становила 4,8 екз./м², на непорушеній ділянці – 102,4 екз./м². У ґрунті рекультивованої ділянки були відсутні дощові черви, та багатоніжки, а енхитреїди були представлені лише

однією особиною. На фоновій ділянці енхитреїди були найчисленнішою групою – 86,4 екз./м², дощові черви нараховували 4,8 екз./м², багатоніжки – 0,8 екз./м². Водночас на ділянці рекультивациі були наявні личинки комах-фітофагів, таких як хлібний жук-кузька, ковалики, довгоносики, хоча щільність коваликів на цій ділянці була ще суттєво меншою, ніж на фоновій (6,4 екз./м² на фоні та 0,8 екз./м² на ділянці рекультивациі).

На ділянках, рекультивация яких тривала вже вісім років (свердловина 134), щільність ґрунту зменшилася і більше відповідала фоновій, хоча й варіювала сильніше (рис. 2, в). За умов щільності ґрунту на обох ділянках менше 1,3 г/см³, залежності чисельності безхребетних від щільності не виявлено.

Загальна щільність мезофауни дещо перевищувала фонові значення (97,6 та 85,5 екз./м² відповідно) за рахунок вищої чисельності енхитреїд. Водночас личинки коваликів і пластинчастовусих були відсутні, а щільність дощових червів була у тридцять разів меншою, ніж на фоновій ділянці.

Найбільш уразливою групою ґрунтової мезофауни виявилися дощові черви, які відновлювали свою чисельність найбільш повільно. На всіх досліджуваних ділянках визначено два види дощових червів: *Aporrectodea rosea* (Savigny, 1826) та *Aporrectodea caliginosa* (Savigny, 1826) – вторинні гумусоутворювачі, космополіти за поширенням. Її нестача суттєво обмежує поширення люмбрицид у верхньому шарі ґрунту та негативно впливає на їхню чисельність.

У порівнянні з фоновими ділянками показники чисельності та екологічного різноманіття комплексів ґрунтових безхребетних були значно меншими на ділянках, рекультивация яких відбулася два місяці та два роки тому (свердловини 103 та 140). На ділянках із восьмирічною рекультивациєю ці показники наближались до фонових (рис. 3).

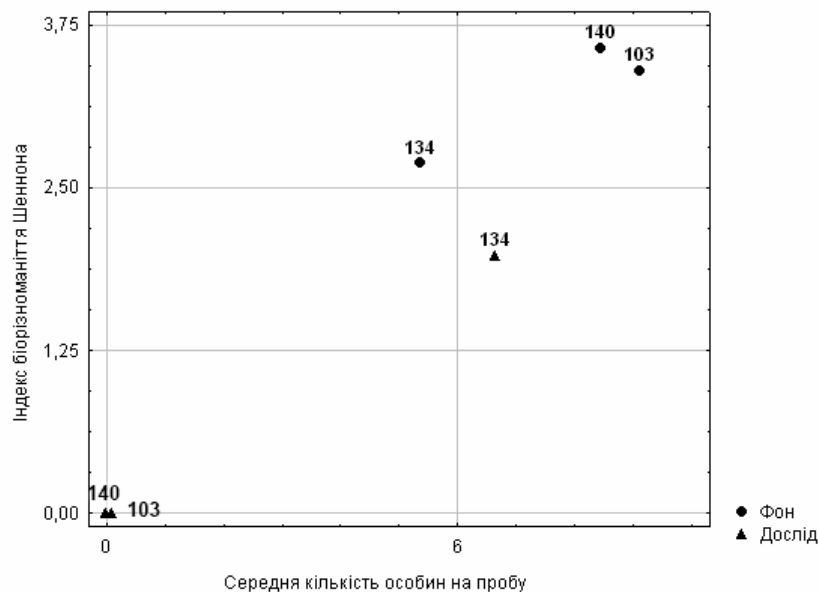


Рис. 3. Порівняння дослідних і фонових ділянок за екологічним різноманіттям ґрунтових безхребетних

Висновки.

1 Втручання у ґрунтовий покрив, а саме знімання шару родючого ґрунту в процесі будівництва бурового майданчику та повернення його через певний час призводить до майже повного знищення ґрунтової мезофауни.

2 Поступове відновлення ґрунтової мезофауни на порушених ділянках бурових майданчиків починається на другий рік після рекультивациі за рахунок заселення ґрунтів личинками комах-фітофагів. Відновлення ґрунтової мезофауни на рекультивованих

ділянках відбувається повільно, показники біорізноманіття та чисельності наближаються до фонових значень тільки після восьмого року рекультивації.

3 Найбільш уразливою групою ґрунтових безхребетних виявилися дощові черви.

4 Як індикатори під час моніторингу пропонується використовувати малощетинкових червів – Lumbricidae та Enchetreidae, а також личинок коваликів і пластинчастовусих.

5 Для моніторингу відновлення ґрунтів бурових майданчиків та оцінювання впливу на навколишнє середовище процесів буріння та освоєння нафтогазових свердловин пропонується використовувати показники екологічного різноманіття безхребетних та щільність кільчастих малощетинкових червів –Lumbricidae та Enchetreidae, і личинок коваликів.

Література

- 1 Гиляров М. С. Зоологический метод диагностики почв. Москва: Наука, 1965. 275 с.
- 2 Журавель М. Ю., Леженіна І. П., Полчанінова Н. Ю., Яременко В. В. Використання герпетобіонтних членистоногих для моніторингу рекультивації ґрунту на території нафтогазового родовища // Известия Харьковского энтомологического общества, 2012. Т. 20. С. 5–14.
- 3 Журавель Н. Е., Леженина И. П., Ключко П. В., Яременко В. В. Мониторинг почвенной мезофауны на рекультивированных землях Игнатьевского газонефтяного месторождения (Украина, Полтавская область) // Вісник Харківського університету. Вип. 18. Сер. Біологія, № 1079. 2013. С. 75–83.
- 4 Журавель М. Ю., Дрозд О. М., Дядін Д. В., Яременко В. В. Особливості агрофізичного стану та накопичення важких металів у агроєкосистемі рекультивованих бурових майданчиків // Вісник ХНАУ. 2014. С. 112–121.
- 5 Журавель М. Ю., Дрозд О. М., Дядін Д. В., Ключко Т. О. Еколого-геохімічні особливості ґрунтів рекультивованих бурових майданчиків нафтогазових свердловин // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування, 2017. № 1 (15). С. 47–55.
- 6 Криволуцкий Д. А. Почвенная фауна в экологическом контроле. Москва: Наука, 1994. 272 с.
- 7 Мордкович В. Г. Любечанский И. И., Березина О. Г., Марченко И. И., Андриевский В. С. Зооэдафон западносибирской северной тайги. Москва: Тов. научн. изд. КМК, 2014. 168 с.
- 8 Песенко Ю. А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. Москва: Наука, 1982. 287 с.
- 9 Сергеева Е. В. Динамика населения почвообитающих беспозвоночных травянистых сообществ южной тайги Западной Сибири // Научные ведомости. Серия Естественные науки. 2010. № 9 (80). С. 65–72.
- 10 Форощук П. В., Полчанінова Н. Ю. К изучению населения пауков (Aranei) на землях, прилежащих к терриконам угольных шахт в Луганской области (Украина) // Известия Харьковского энтомологического общества. 2013. Т. 21. С. 67–72.
- 11 Чернышов В. Б. Экология насекомых: Учебник. Москва: Изд-во МГУ, 1996. 304 с.
- 12 Avirmed O., Burke I. C., Mobley M. L., Lauenroth W. K., Schlaepfer R. Natural recovery of soil organic matter in 30–90-year-old abandoned oil and gas wells in sagebrush steppe // Ecosphere. 2014. Vol. 5. P. 1–13.
- 13 Bull J. W., Suttle K. B., Gordon A., Singh N. J. Biodiversity offsets in theory and practice // Oryx. 2013. Vol. 47. P. 369–380.
- 14 Cooke J. A., Johnson M. S. Ecological restoration of land with particular reference to the mining of metals and industrial minerals: A review of theory and practice // Environmental Revue. 2002. Vol. 10. P. 41–71.
- 15 Dorn Ph. B., Salanitro J. P. Temporal ecological assessment of oil contaminated soils before and after bioremediation // Chemosphere. 2000. Vol. 40. P. 419–426.
- 16 Hedde M., van Oort F., Lamy I. Functional traits of soil invertebrates as indicators for exposure to soil disturbance // Environmental Pollution. 2012. Vol. 164. P. 59–65.
- 17 Hüttl R. F., Bradshaw A. Ecology of post-mining landscapes // Restoration Ecology. 2001. Vol. 9. P. 339–340.
- 18 Lavelle P., Decaëns T., Aubert M., Barot S., Blouin S., Bureau F., Margerie P., Mora P., Rossi J.-P. Soil invertebrates and ecosystem services // European Journal of Soil Biology. 2006. Vol. 42. P. 3–15.

- 19 Purger J. J., Farcas S., Danit L. Colonization of post-mining recultivated area by terrestrial isopods (Isopoda: Oniscoidea) and centipedes (Chilopoda) in Hungary // *Applied Ecology and Environmental Research*. 2007. Vol. 5. P. 87–92.
- 20 Rufaut C. G. Plant and invertebrate assemblages on waste rock at Wangaloa coal mine, Otago, New Zealand // *New Zealand Journal of Ecology*. 2006. Vol. 30. P. 311–319.
- 21 Schladweiler B. K. Comparison of reclamation of coalmines under the surface mining control and reclamation act of 1977 and oil and gas sites in Wyoming / National Meeting of the American society of Mining and Reclamation. Billings, MT. Revitalizing the Environment: Proven Solutions and Innovative Approaches. May 30 – June 5, 2009. R. I. Barnhisel (ed.). Lexington, ASMR. 2009. P. 1196–1200.
- 22 Sedivec K., Piper C., Printz J., Wick A., Daigh A., Limb R. Successful reclamation of lands disturbed by oil and gas development and infrastructure construction NDCU extension service. North Dakota State University. Fargo, October 2014. 24 pp.
- 23 Smith P. W., Deput E. J., Richardson B. Z. Plant community development on petroleum drill sites in northwestern Wyoming // *Journal of Range Management*. 1988. Vol. 41. P. 372–378.
- 24 M. N. von Straalen The use of soil invertebrates in ecological surveys of contaminated soils. In: *Vital soil. Function, value and properties*. P. Doelman, Y. J. P. Eijsackers (eds.). 2012. P. 159–196.
- 25 Zvomuya F., Larney F. J., De Maere P. R., Olson A. F. Organic amendment effects on crop productivity and nutrient uptake on reclaimed natural gas well sites // *Nutrition Cycles of Agroecosystems*. 2008. Vol. 80. P. 223–232.

© М. Ю. Журавель,
І. П. Леженіна,
Н. Ю. Полчанінова,
В. В. Яременко

*Надійшла до редакції 2 листопада 2017 р.
Рекомендував до друку
докт. тех. наук О. М. Мандрик*

ЕКОЛОГІЯ ГІДРОСФЕРИ

УДК 504.349

В. М. Триснюк, Т. В. Триснюк

*Інститут телекомунікацій і глобального
інформаційного простору НАН України*

КАРТОГРАФІЧНІ МОДЕЛІ ЗОН ЙМОВІРНИХ ПІДТОПЛЕНЬ РІЧКИ ДНІСТЕР

Роботу присвячено розв'язанню науково-практичного завдання з обґрунтування побудови геомodelей зон ймовірних підтоплень річки Дністер на основі аерокосмічних та контактних вимірювань. Для локалізації підтоплених зон і прогнозування динаміки змін геометричних характеристик проаналізовано природні й техногенні фактори, що спричиняють підйом рівня ґрунтових вод.

Ключові слова: екологічна безпека території, картографічно-графова модель, техногенне навантаження, дистанційні методи, контактні методи.

The work is devoted to solving the scientific and practical task of substantiating the construction of geomodels of zones of probable flooding of the Dniester River on the basis of aerospace and contact measurements. For localization of flooded zones and forecasting of the dynamics of change of geometric characteristics, natural and man-made factors, which cause rise of groundwater level, are analyzed.

Key words: ecological safety of the territory, cartographic graph model, technogenic loading, remote methods, contact methods.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Основною задачею наших досліджень є розробка картографічних modelей зон ймовірних підтоплень річки Дністер. Дослідження екологічного стану та техногенного навантаження показує, що все частіше активізуються небезпечні процеси паводкових явищ. З метою своєчасного прийняття рішень щодо запобігання або ліквідації можливих негативних наслідків активно використовуються дистанційні аерокосмічні методи. Розроблення нових і вдосконалення наявних методів побудови геомodelей, визначення зон потенційних підтоплень є можливим тільки на основі комплексного використання даних аерокосмічних і контактних досліджень з урахуванням різноманіття гідрогеологічних умов і специфіки ділянки, що вивчається.

Щороку загострюється проблема підтоплення підземними водами нових територій, що призводить до погіршення санітарно-епідеміологічних умов, зміни хімічного складу підземних вод і ґрунтів, підвищення їх корозійної активності відносно фундаментів інженерних споруд та комунікацій, активізації небезпечних геологічних явищ та ін.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Експериментальні дослідження техногенних чинників пов'язаних із підтопленням території річки Дністер ґрунтується на використанні методики експертної оцінки та інформаційних технологій. На даній території в роботах О. М. Адаменка, А. Б. Богуцького, А. М. Яцишина, С. Рудницького, Е. Ромера, проведено геоморфологічні дослідження, вивчення історії розвитку долин Дністра, основні етапи формування терас Дністра. Сучасна екологічна ситуація на території Дністровського протипаводкового полігону розглядається в роботах Я. О. Адаменка, Д. О. Зоріна, Я. М. Семчука та інших. Наукометричний огляд показав, що на даній території існує ряд екологічних проблем, які потребують вирішення.

Мета та завдання роботи. Метою роботи є розв'язання науково-практичного завдання з обґрунтування побудови геомodelей зон ймовірних підтоплень річки Дністер на основі аерокосмічних та контактних вимірювань.

Викладення основного матеріалу. Запобігання надзвичайним ситуаціям, пов'язаним із підтопленням території річки Дністер, потребує постійного моніторингу територій з оцінюванням та аналізом отриманих даних. Виявлення підтоплених ділянок здійснюється за допомогою контактних і дистанційних методів.

Екологічна небезпека паводкових явищ має місце у ландшафтних місцевостях терасованих днищ річкових долин у вигляді руйнівної берегової ерозії, а у передгір'ях у межах місцевостей заплав і низьких терас у вигляді паводкового затоплення. Серед геоморфологічних процесів значним ступенем екологічної небезпеки характеризуються зсувні явища, притаманні місцевостям ерозійно-зсувних межиріч і пологосхилого низькогір'я, обвали і осипища - в крутосхилому середньогір'ї [1].

Хімічне забруднення території не має чіткої ландшафтно-приуроченості і тяжіє до локальних джерел впливу, навколо яких формуються техногенні геохімічні аномалії. Всього в регіоні Дністровського каньйону, що проходить по межі Тернопільської області нараховується біля 18 техногенних аномалій.

Контактні методи дають змогу з високою точністю вимірювати глибину залягання підземних вод, але мають місце похибки під час встановлення їх меж. Ці методи потребують значних матеріальних і трудових витрат [2, 3].

Використання інтервальних оцінок при визначенні ступеня ризику для формування ієрархічної структури геомodelей робить можливим прийняття оперативних рішень щодо запобігання наслідкам небезпечних інженерно-геологічних процесів в умовах невизначеності. Усе це потребує встановлення залежностей між параметрами моделей, які характеризують різноманітні можливі стани досліджуваних ділянок місцевості, із використанням експертних оцінок і статистичних даних. Такий підхід сприяє підвищенню точності локалізації підтоплених зон із різними ступенями небезпеки.

Геоінформаційні системи досліджуваної території включають просторову прив'язку гідрологічних елементів і точок спостереження, підготовку цифрової моделі рельєфу, виділення басейнів водозбору, моделювання площ підтоплення (рис.1).

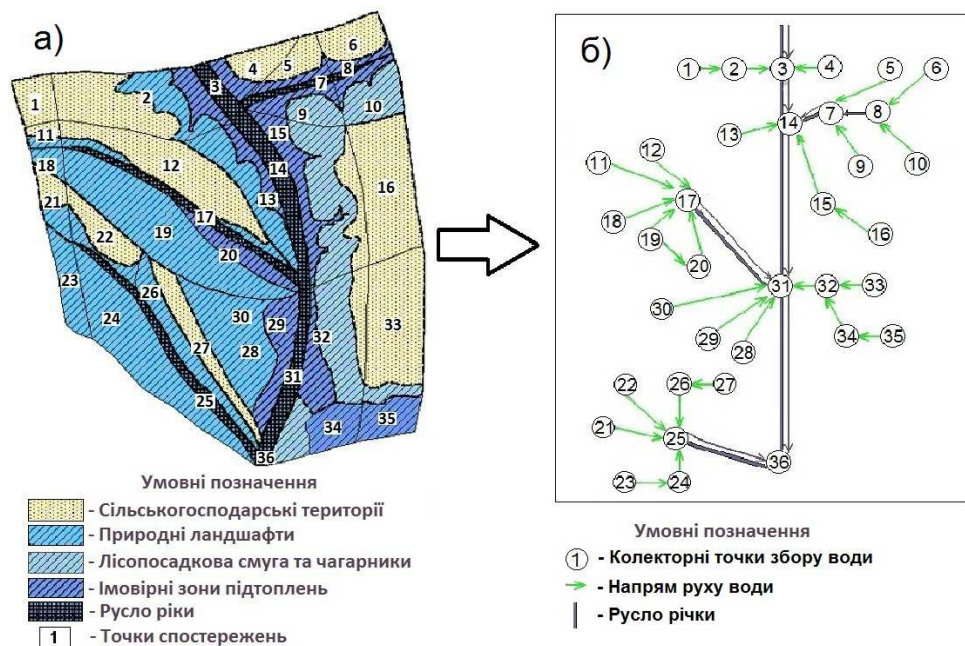


Рис. 1. Картографічно-графова модель взаємодії підтоплень геосистем при дощовій погоді на відрізку річки Дністер (а – картографічне представлення підтоплень, б – графове представлення моделі)

Запропоноване картографічне представлення підтоплень та графове представлення моделі досліджуваного регіону базується на використанні аерокосмічного та наземного знімання, включає обробку матеріалів з метою отримання топографічних або спеціальних карт, побудову цифрової моделі рельєфу.

Побудований граф відображає точки дослідження та особливості розгалуженості водозборів території. Кінцевою метою запропонованої методики є оцінка та розгляд заходів протидії повеневим та деформаційним явищам русла.

Для локалізації підтоплених зон і прогнозування динаміки зміни геометричних характеристик установлено природні й техногенні фактори, що спричиняють підйом рівня ґрунтових вод. Визначено можливі несприятливі процеси в підтоплених зонах залежно від призначення території. Обґрунтовано виділення чотирьох категорій підтоплень залежно від рівня залягання підземних вод, факторів, що їх спричиняють, і можливих наслідків. I та II категорія відповідають територіям із глибиною залягання ґрунтових вод менше 2,5 м, де виникають небезпечні явища, III категорія – потенційно підтоплювані території з глибиною 2,5...4,0 м, де існує тенденція до підйому рівня ґрунтових вод. До IV категорії «непідтоплювані» належать ділянки з рівнем підземних вод глибше 3 м, де немає передумов до підтоплення.

Метод космобіоіндикації, розроблений Г. Я. Красовським, дає можливість проводити контроль за перезволоженими територіями на основі залежності стану рослинного покриву, який визначають за вегетаційними індексами, від ступеня перезволоженості земель. Застосування цього методу обмежується неораними мочаристими ґрунтами [4].

З метою визначення ступеня небезпеки досліджуваної території необхідно оцінити можливий ризик від неглибокого залягання підземних вод. Створення нових і удосконалення існуючих методів побудови геомodelей зон ймовірних підтоплень можливо тільки на основі комплексного використання даних аерокосмічних і контактних вимірювань з урахуванням різноманіття гідрогеологічних умов і специфіки аналізованої місцевості.

Розглянемо методику побудови геомodelей зон ймовірних підтоплень за ступенем небезпеки, структурну схему (рис. 2).



Рис. 2. Методика створення картографічної моделі підтоплення за ступенем небезпеки

Процес створення картографічних моделей із різними ймовірностями виникнення підтоплення складається з чотирьох етапів. На першому етапі проводиться створення картографічної моделі зон ймовірних підтоплень на основі бази правил нечітких продукцій за даними радіолокаційної топографічної зйомки SRTM і наявних контактних даних.

На наступному етапі здійснюється тематичне дешифрування знімків із метою визначення геоморфологічних елементів і можливих джерел техногенних витікань для побудови картографічних моделей природних та техногенних підтоплень на основі єдиної шкали оцінювання класифікаційних ознак. Якщо необхідно, то проводиться фотограмметричне оброблення знімків. Третій етап полягає в уточненні геомоделі підтоплення шляхом операції оверлею картографічних моделей, побудованих на основі бази правил нечітких продукцій та інтервальної шкали оцінювання. На заключному етапі створюється підсумкова комплексна ієрархічна геомодель зон ймовірних підтоплень за ступенем небезпеки накладанням уточненої геомоделі й моделі техногенного підтоплення.

Розглянемо ознаки, які використовуються при візуальному аналізі матеріалів космічних зйомок або формалізуються у методах комп'ютерного аналізу космічних знімків. Дешифрувальні ознаки умовно можна розділити на дві основні групи – яскравісні і структурні. При візуальному дешифруванні фотографічних матеріалів до яскравісних ознак належать фотон зображення (для чорно-білих знімків), характеристики кольору: колірний тон, насиченість кольору і «світлота» (для кольорових, спектрзональних і синтезованих знімків). При дешифруванні цифрових зображень, візуалізованих на екрані дисплея, до яскравісних ознак належать еквівалент яскравості зображення (для матеріалів панхроматичної зйомки), еквіваленти зональних яскравостей (для матеріалів багатозональної зйомки), еквівалент ПЕПР (питома ефективна площа розсіювання) для радіолокаційних зображень; якщо для візуалізації багатозональних зображень використовують процедуру синтезу в умовних кольорах, то дешифрувальними ознаками також є характеристики кольору. До структурних ознак належать розміри і форми об'єктів, характер розподілу яскравості у межах об'єкту, текстура зображення та деякі інші [5]. Вихідними матеріалами тематичної обробки космічних знімків є картосхеми різного тематичного змісту. Сукупно вони відображають локалізацію об'єктів і просторовий розподіл показників, що характеризують екологічний стан навколишнього природного середовища або рівень антропогенного впливу на його складові, локалізацію джерел і масштаби цього впливу. Тому основні процедури тематичної обробки космічних знімків полягають у сегментації зображень, з метою ідентифікації площинних і лінійно протяжних об'єктів (рис. 3).

Дистанційні методи дають можливість оперативно проводити моніторинг підтоплень та простежувати їх динаміку, однак мають ряд недоліків, обумовлених складністю інтерпретації даних, недостатньою глибиною вимірювань деяких методів і затримкою при отриманні космознімків.

Виділення підтоплених зон на космознімках здійснюється за непрямими дешифрувальними ознаками, такими, як заплава, болота й западини. Проведення контурів підтоплених ділянок можливо за пороговими значеннями математичного сподівання та дисперсії інтенсивності кольору по каналах R, G, B [2].

Цифровий орторектифікований панхроматичний знімок з роздільною здатністю 10 м, обмежений 4800x4800 пікселями, методом контрольованої класифікації опрацьований за допомогою програмного продукту ERDAS.

Висновки. Внаслідок дослідження вирішено актуальне науково-практичне завдання – розроблення методів побудови геомоделей зон ймовірних підтоплень території річки Дністер за ступенем небезпеки в умовах недостатньої апріорної інформації.

Наукометричний аналіз методів побудови геомоделей підтоплених територій показав, що своєчасне виявлення потенційно підтоплюваних ділянок і прогнозування розвитку негативних процесів є можливим тільки при комплексному використанні

результатів дистанційних і контактних вимірювань з їх подальшим нормуванням та обробленням.

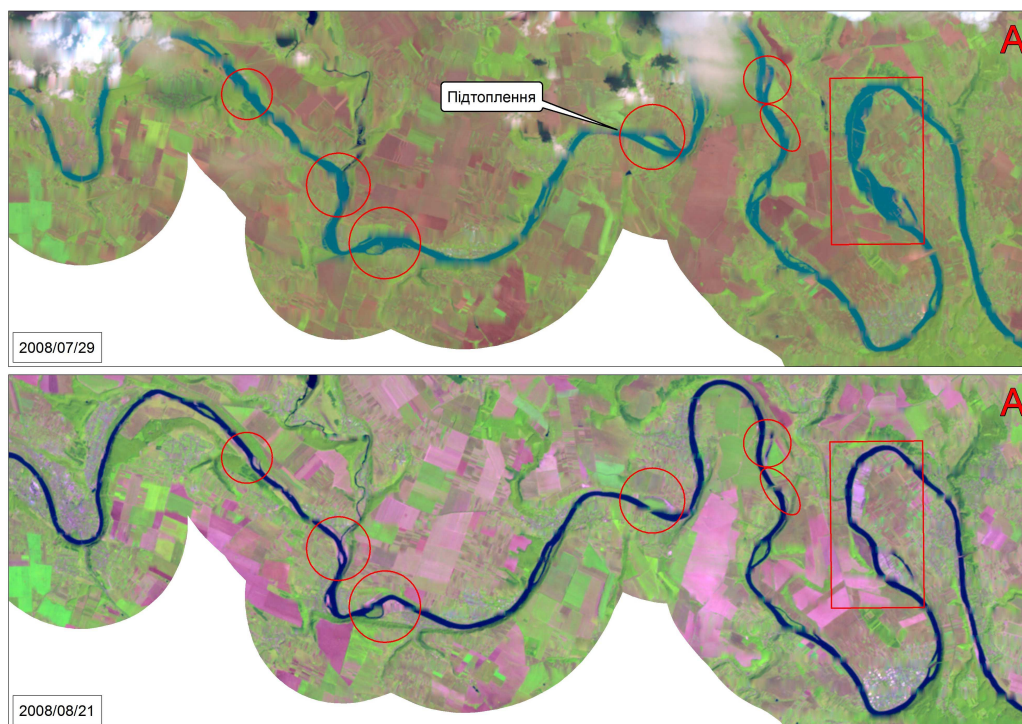


Рис. 3. Фрагмент космічного знімка підтоплення території річки Дністер від сс. Добрівляни до Устя, з супутника Sentinel 2, 2008 роздільною здатністю 10 м

Можливість використання доступних космознімків дає змогу зменшити часові й матеріальні витрати на проведення додаткових контактних вимірювань при визначенні зон ймовірних підтоплень, не знижуючи при цьому точності прогнозних параметрів.

Розроблені картографічні геомоделі зон ймовірних підтоплень дають змогу визначити й візуально оцінити ступінь підтоплення при різних режимах експлуатації напірних горизонтів, що мають гідралічний зв'язок із ґрунтовими водами. Ці методи побудови геомоделей реалізовано для території Дністровського каньйону, гідрогеологічною особливістю якої є наявність зв'язку між верхньокрейдяним горизонтом і ґрунтовими водами.

Література

- 1 Триснюк В. М. Екологія Гусятинського району. Монографія /В.М. Триснюк // – Тернопіль, Тернограф, 2004. – 219 с.
- 2 Адаменко О. М. Екологічна безпека територій. Монографія / О. М. Адаменко, Я. О. Адаменко, Л. М. Архипова та ін. – Івано-Франківськ : Супрун, 2014. – 456 с.
- 3 Архипова Л.М. Природно-техногенна безпека гідроекосистем: монографія: - Івано-Франківськ: видавництво ІФНТУНГ, 2011. – 366 с.
- 4 Красовський Г. Я. Інвентаризація водойм регіону з застосуванням космічних знімків і геоінформаційних систем / Г. Я. Красовський, О. С. Волошкіна, І. Г. Пономаренко, В. А. Слободян // Екологія і ресурси. – 2005, вип. 11. – С. 19-41.
- 5 Довгий С. О. Інформатизація аерокосмічного землезнавства/ С. О. Довгий, В. І. Лялько, О. М. Трофимчук, О. Д. Федоровський та ін. – К.: Наук. думка, 2001.- 148 с.

© В. М. Триснюк,
Т. В. Триснюк,

Надійшла до редакції 12 листопада 2017 р.
Рекомендував до друку
докт. геол.-мін. наук О. М. Адаменко

**ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОД РІЧКИ ЛІМНИЦІ ЗА ІНТЕГРАЛЬНИМ
БЛОКОВИМ ІНДЕКСОМ**

Проведена інтегральна оцінка якості води в р.Лімниця на основі трьох блоків екологічних показників: сольового складу, трофо-сапробності вод (еколого-санітарні), та специфічні показники, що характеризують вміст у воді забруднюючих речовин токсичної і радіаційної дії. Проведений аналіз коливання показників якості відповідно до сезону року.

Ключові слова: Лімниця, якість води, гідрохімічний режим, ГДК, екологічна оцінка.

An integrated assessment of the quality of water in the Limnytsya river, based on three blocks of environmental indicators: salt composition, trophic-saprobity of the water (ecological and sanitary), and specific indicators characterizing the water content of pollutants of toxic and radiation action. An analysis of the fluctuations of the quality indicators according to the season of the year is carried out.

Key words: Limnitsa, water quality, hydrochemical regime, MAC, ecological assessment.

Актуальність проблеми. Однією з основних екологічних проблем сучасності є забезпечення раціонального використання водних ресурсів, які відіграють значну роль в життєдіяльності людини. Розвиток промисловості, сільського господарства, транспорту, відпочинок населення певної території також залежить від забезпечення водними ресурсами. На жаль із розширенням господарської діяльності на водозаборах рік залишається все менше природних ландшафтів. Забруднення поверхневих вод можуть спричинити скиди промислових та господарсько-побутових стічних води. Екологічна ситуація, яка склалася в Калуському гірничопромисловому районі, вимагає дослідження стану водних ресурсів басейну р.Лімниця, води якої використовуються для господарсько-питного водоспоживання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Спостереження над водним режимом проводиться на двох вод постах по р.Лімниці (Осмолода (1950–діючий) і Перевозець (1904–1918, 1920–1924, 1926–1929, 1940–1943, 1953–діючий), а також в с. Спас (1904–1911, 1913, 1916, 1917, 1928, 1929, 1940–1942, 1945–діючий) на р.Чечві

Санітарний контроль здійснює ДУ «Івано-Франківський обласний лабораторний центр Держсанепідслужби України» (створи в с.Добровляни та с.Вістова).

Моніторинг якості поверхневих вод здійснюється також Управлінням водних ресурсів в Івано-Франківській області по контрольних створах в с.Вістова (р.Лімниця) та смт.Рожнятів (Чечвинське водосховище).

В роботі В. І. Вишневського і О. О. Косовця [1] містяться дані про характерні рівні та витрати води до 2000 року включно.

В праці В. О. Хільчевського, О. М. Гончар, М. Р. Забокрицької, В. А. Сташука, Р. Л. Кравчинського та О. В. Чунарьова «Гідрохімічний режим та якість поверхневих вод басейну Дністра на території України», охарактеризовано гідрохімічний режим та якість води річок транскордонного басейну Дністра (в межах України) за період 1994–2009 рр. під час весняної повені, літньої межені, літньо-осінніх паводків та зимової межені. Показано відмінності у формуванні гідрологічного і гідрохімічного режиму в гірський та рівнинній частині басейну, деяких приток (в тому числі р. Лімниця) [4] .

Метою роботи є оцінка якості вод р. Лімниця, за гідрохімічними показниками, на основі даних моніторингу протягом 2012-2016 рр (за даними Управління водних ресурсів в Івано-Франківській області по контрольному створі в с. Вістова)

Виклад основного матеріалу. Річка Лімниця бере початок із джерел за 1,5 км на північний схід від гори Велика Кепута на висоті близько 1370 м. абс., впадає в Дністер з правого берега на 1120 км від гирла на висоті 219 м. абс. біля Галича. За довжиною – це найбільша річка (122 км) з карпатських притоків Дністра після Стрия. Площа водозбору становить 1530 км², а густота річкової сітки басейну більше одного км/км². Загальне падіння 1151 м.

У верхів'ї річка має дуже розгалужену мережу приток. Всього в басейні р.Лімниця налічується 8 приток I-го порядку, 5 – II-го порядку і 1 – III-го, довжиною 10 і більше кілометрів. (табл.1)[5].

Таблиця 1

Характеристики річок басейну р. Лімниця

Назва річки	Куди впадає	Ліва чи права притока	Відстань від гирла основної ріки до місця впадіння, км	Довжина, км	Похил, м/км	Площа басейну, км ²
Дарів	Лімниця	ліва	106	10	2,6	29,8
Бистрик	Лімниця	права	102	10	4,6	37
Петрос	Лімниця	ліва	100	11	62	41
Молода	Лімниця	ліва	95	24	26	184
Мшана	Молода	ліва	6,0	12	45	56,6
Турава	Лімниця	права	63	18	16	32
Черлен	Лімниця	права	57	18	14	40,6
Чечва	Лімниця	ліва	39	58	16	548
Ілемка	Чечва	ліва	34	21	38	90,5
Манявка	Чечва	права	26	11	13	38,9
Дуба	Чечва	права	14	24	17	134
Млинівка	Дуба	права	6,1	22	20	39
Урив	Лімниця	права	30	15	2,2	101
Бережниця	Урив	права	0,4	23	9,2	76,8

На території басейну досліджуваної річки знаходиться понад 50 населених пунктів, найбільшим з яких є м. Калуш з населенням 67,5 тис. осіб. До порівняно великих також можна віднести смт. Перегінське (близько 12,5 тис. осіб), с. Сваричів (5 тис. осіб) і ще декілька сіл з населенням понад 3 тис. осіб. Найбільш верхнім населеним пунктом долини Лімниця є с. Осмолода (717 м).

Розчленовані річковими долинами (Молода, Мшана, Дарів, Петрос та ін.) гірські хребти мають м'які форми і округлі вершини висотою 1500–1800 м. абс. (г. Молода, 1723 м; Попада, 1739 м; Дрофа, 1748 м; Петрос, 1705 м; Ігровець, 1804 м; Лопушна, 1836 м). У північно-східному напрямку місцевість поступово знижується, окремі вершини тут не перевищують 700–800 м, а нижче Перегінська річка тече по Прикарпатській височині з відмітками 300–400 м. абс. Вододіли тут виражені не чітко. Рельєф гірської частини належить загалом до складчастих гір низької і середньої висоти.

Гідрохімічний режим водних об'єктів проявляється у вигляді багаторічних, сезонних чи навіть добових коливань концентрації компонентів хімічного складу та показників фізичних властивостей води, рівня забрудненості води і відображає зміни процесів забруднення та самоочищення водних об'єктів [4].

Екологічна класифікація якості поверхневих вод суші та естуаріїв України побудована за екосистемним принципом. Необхідна повнота і об'єктивність характеристики якості поверхневих вод досягається достатньо широким набором показників, які відображають особливості абіотичної і біотичної складових водних екосистем.

Комплекс показників екологічної класифікації якості поверхневих вод включає загальні і специфічні показники. Загальні показники, до яких належать показники

сольового складу і трофо-сапробності вод (еколого-санітарні), характеризують звичайні властиві водним екосистемам інгредієнти концентрація яких може змінюватись під впливом господарської діяльності. Специфічні показники характеризують вміст у воді забруднюючих речовин токсичної і радіаційної дії [3].

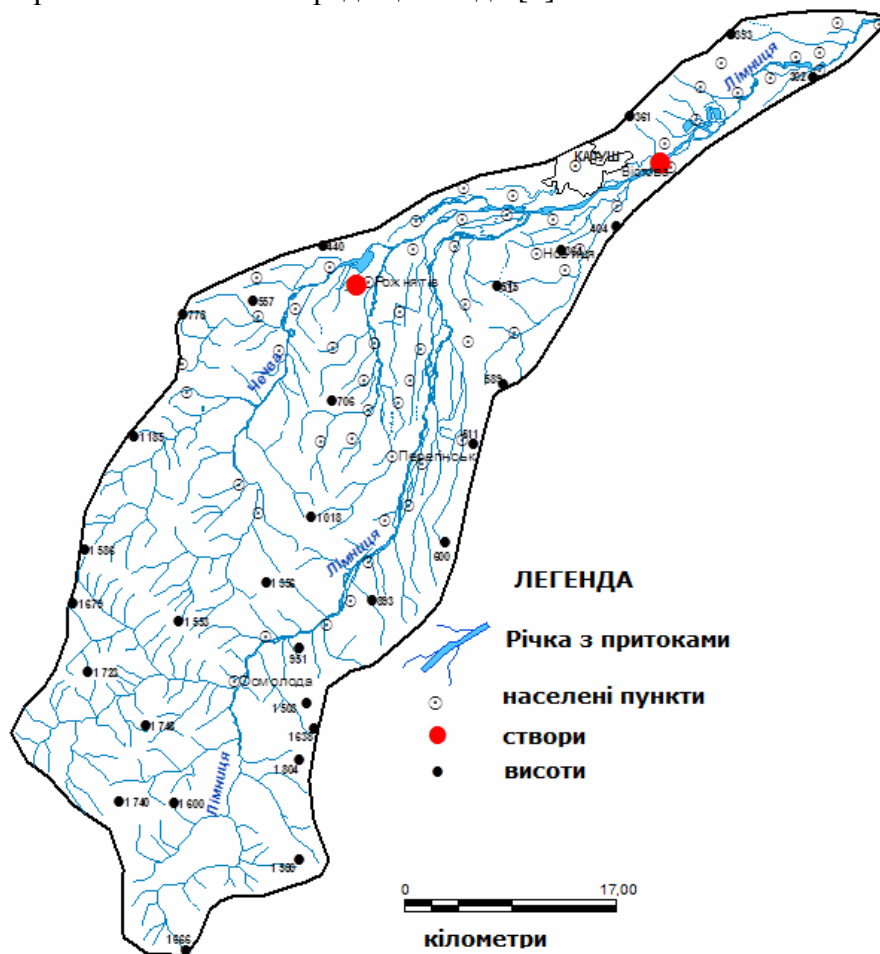


Рис. 1. Басейн р. Лімниці

Інформація по показниках стану вод, була усереднена відповідно до гідрологічних сезонів року: період весняної повені, літньо-осінньої межені, літньо-осінніх паводків і зимової межені. Для розрахунків по блоку специфічних показників взято речовини радіаційної дії, оскільки значення таких токсичних речовин, як феноли, СПАР, нафтопродукти за досліджуваний період дорівнюють нулю.

З табл. 2 випливає, що відібрані для аналізу показники не перевищують ГДК. Крім того помітно, що найвищі значень більшості показників набувають влітку та восени.

Етап узагальнення оцінок якості води за окремими показниками з визначенням інтегральних значень класів і категорій якості води виконується лише на основі аналізу показників в межах відповідних блоків. Це узагальнення полягає у визначенні середніх і найгірших значень для трьох блокових індексів якості води, а саме: для індексу забруднення компонентами сольового складу (I1), для трофо-сапробіологічного (еколого-санітарного) індексу (I2), для індексу специфічних показників токсичної і радіаційної дії (I3) [3].

Маючи значення блокових індексів якості води, легко визначити їх приналежність до певного класу та категорії якості води за допомогою системи екологічної класифікації.

Середні значення для трьох блокових індексів якості води визначаються шляхом обчислення середнього номера категорії за всіма показниками даного блоку; при цьому категорія I має номер 1, категорія II – номер 2 і т.д (табл.3).

Таблиця 2

Сезонні показники якості вод в р. Лімниці протягом 2012-2016рр.

Сезон	Сольовий склад, мг/дм ³			Еколого-санітарні показники			Показники специфічних речовин радіаційної дії	
	сума іонів	хлориди	сульфати	азот амонійний, мг N/м ³	БСК, мг	завислі речовини, мг/дм ³	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs
ГДК	1000	300	100	0,5	3,0	50	$3,8 \times 10^{-12}$	$3,8 \times 10^{-12}$
зима	160	15,6	30	0,14	1,5	5	$1,34 \times 10^{-13}$	$11,5 \times 10^{-13}$
весна	145	11,2	28	0,135	1,4	5,6	$1,4 \times 10^{-13}$	$11,2 \times 10^{-13}$
літо	173	11,5	35	0,19	1,7	5,4	$1,5 \times 10^{-13}$	$11,7 \times 10^{-13}$
осінь	174	9,3	30	0,22	1,4	5,4	$1,33 \times 10^{-13}$	$11,2 \times 10^{-13}$

Таблиця 3

Об'єднана екологічна оцінка якості води в р.Лімниці за середнім значенням блокових індексів І_Е

Сезон	Блокові індекси				Об'єднана оцінка			Характеристика	
	I ₁	I ₂	I ₃	I _Е	категорія	субкатегорія	клас якості	екологічний стан	ступінь чистоти
зима	1	1,7	2,5	1,7	2	2(1)	I	відмінні	дуже чисті
весна	1	2	2,5	1,8	2	2(1)	I	відмінні	дуже чисті
літо	1	2,3	2,5	1,9	2	2	II	дуже добрі	чисті
осінь	1	2,3	2,5	1,9	2	2	II	дуже добрі	чисті

За показниками сольового складу води р. Лімниці можна віднести до I-го класу якості, оскільки допустимі значення для цього класу повинні бути для суми іонів – 500 мг/дм³, хлоридів – 20 мг/дм³, сульфатів – 50 мг/дм³.

З даної таблиці бачимо, що екологічний стан води коливається від відмінного (зима, весна) до дуже доброго (літо, осінь). Найгірші значення мають специфічні показники речовин радіаційної дії.

Висновки. Згідно класифікації якості поверхневих вод за критерієм мінералізації води досліджуваної річки відносяться до прісних, гіпогалінних; за критеріями іонного складу – гідрокарбонатні (С) кальцієві. За показниками сольового складу вода до I класу і 1 категорії якості вод. Трохи гірша ситуація в блоці еколого-санітарних показників та специфічних показників. На погіршення якості впливає вміст у воді завислих речовин та радіонуклідів. Якість води в Лімниці протягом року коливається в межах від I до II класу, що визначає відмінний і добрий екологічний стан.

Література

- 1 Вишневецький В.І. Гідрологічні характеристики річок України./ В.І. Вишневецький О.О. Косовець.- Київ: Ніка-Центр, 2003.- 324 с.
- 2 Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. Романенко В.Д., Жукинський В.М., Оксіук О.П., та ін., Київ, Символ-Т, 1998.- 28 с. .
- 3 Приходько М.М. Івано-Франківська область. Екологія і оптимізація природокористування./ М.М. Приходько, В.О. Сав'юк, Н.В. Дмитраш та інші. - Івано-Франківськ, 1996., - 137 с.
- 4 Хільчевський В.К. Гідрохімічний режим та якість поверхневих вод басейну Дністра на території України./ В.К. Хільчевський, В.А. Сташук.- Київ, Ніка-Центр, 2013. -256 с.
- 5 Швець Г.І. Каталог річок України/Г.І. Швець, Н.І.Дрозд, С.П.Левченко.-Київ, 1957.-192с.

© О. П. Євчук

Надійшла до редакції 27 жовтня 2017 р.
Рекомендував до друку
докт. геол.-мін. наук О. М. Адаменко

УДК 556.11:556.531:614.777:574.5

**В. Г. Сінченко¹, А. М. Николаєв²,
Ю. В. Караван¹, М. М. Тураш¹**
¹ДП "Науковий центр превентивної
 токсикології, харчової та
 хімічної безпеки імені академіка
 Л. І. Медведя МОЗ України",
²Чернівецький національний
 університет імені Юрія Федьковича

ДО ВИКОРИСТАННЯ ВОДОРОСТЕЙ ЯК ІНДИКАТОРІВ ЗАБРУДНЕНOSTІ ПРИ ГІДРОХІМІЧНІЙ ТА ЕКОЛОГО-САНІТАРНІЙ ОЦІНЦІ ЯКОСТІ ВОДНИХ РЕСУРСІВ: ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСКОРДОННИХ РІЧОК ЧЕРНІВЕЦЬКОЇ ОБЛАСТІ

Проведено аналіз ряду показників гіdroхімічного та трофо-сапробіологічного блоків критерію якості води річок Прут, Сірет та Дністер. Здійснено класифікацію вод, визначено їх гіdroхімічні індекси. Для окремих ділянок річок розраховано оптимальний коефіцієнт розведення води, величина якого характеризує гіdroхімічну якість по відношенню до води мінерально повноцінного джерела питного водокористування. Представлено результати відносної оцінки показників трофо-сапробіологічного блоку. За ними встановлено просторові особливості зміни якості води в гіdroеко системі річок.

Стан річки Сірет оцінено за показниками критерію екологічної якості води. Параметри гіdroбіологічної складової визначено за індексом сапробності. В якості додаткового біоіндикатору використано угруповання фітоперифітону. Визначено категорії якості води відповідно до критеріїв, які зазначені в нормативних документах України. Звернуто увагу на високу інтегральну чутливість застосованого біоіндикатору до змін в гіdroеко системі річки.

Ключові слова: якість води річок Прут, Сірет, Дністер; біоіндикатори забруднення річкових гіdroеко систем; оцінка якості поверхневих вод.

Results of determination of a number of indicators of hydrochemical and trophic-saprobiological blocks of the criterion of surface water quality of the rivers: Prut, Siret and Dniester are presented. Classification of the water bodies by categories has been carried out, their hydrochemical indices have been determined. For individual sections of the rivers an optimal breeding coefficient, which characterizes the chemical quality of a water was calculated. The values of the trophic-saprobiological block were used to assess the ecological state of investigated water bodies. According to the parameters, the spatial features of changes in water quality in the hydroecosystems have been established

The ecological state of the river Siret was estimated by the index of the criterion of ecological water quality. Parameters of the hydrobiological component are determined by the bioindicators, which is used as a phytoperiphyton group. The averaged water quality classes according to the quality criteria of the document Ukraine were determined. The high integral sensitivity of the applied bioindicators to changes in the hydroecosystem has been confirmed.

Key words: water quality of rivers Prut, Siret, Dniester; bioindicators of pollution of river hydro ecosystems; assessment of surface water quality.

Вступ. Зростання економічної діяльності у Чернівецькій області є неможливим без всебічної оцінки якості водних ресурсів. Така оцінка передбачена рядом діючих в області програм розвитку, зокрема щодо туристичної та рекреаційної галузі [10]. Показники якості є базовими при виборі технології підготовки води до споживання. Вибір здійснюється у відповідності до фактичної забрудненості водного об'єкту. Технологія підготовки повинна враховувати фактичні значення показників якості його води. Отримання інформації про стан води річок області, аналіз та прогнозування показників

якості є, таким чином, пріоритетним і актуальним завданням збереження здоров'я населення Чернівецької області.

На економічно нерозвинених територіях для забезпечення потреб у воді об'єктів інфраструктури та господарської діяльності перевагу доцільно надавати воді з поверхневих водних об'єктів. Умовою використання такої води є видалення з неї наявних забруднювачів. Очищення води здійснюється з метою дотримання стандартів її якості. Питна вода має відповідати вимогам нормативних документів (НД), зокрема щодо вмісту і балансу мінеральних солей, мікроелементів та привнесених домішок [2]. Увагу слід зосереджувати на визначенні складу забруднювачів та чинниках, які призводять до його зміни. В практичній діяльності чинні в Україні методики контролю забрудненості, наприклад [5] не завжди використовують можливості гідробіологічної індикації. Особливої уваги потребують забруднювачі антропогенного походження, зокрема органічні сполуки, які часто є присутніми у воді в незначних концентраціях. При тривалій дії таких сполук, їх вплив на гідробіологічні об'єкти може відображатись у зміні гідробіологічних показників. Тому дослідження в галузі використання гідробіологічних методів, як доповнення до класичної фізико-хімічної оцінки якості води, становлять значний науковий і практичний інтерес.

Аналіз попередніх досліджень. Показники якості води, стан гідроекосистем, визначення екологічного статусу у відповідності до діючих в Україні та у державах ЄС стандартів і методичних підходів, в тому числі Водної Рамкової Директиви ЄС 2000/60/ЄС, досліджувались у регіоні Українських Карпат для деяких великих річок та їх приток. Ґрунтовно вивчено р. Тиса [1], в меншій мірі р. Прут [14, 21] та, частково, р. Сірет [6]. Також останніми роками упорядковано багаторічні результати гідрохімічного моніторингу, здійснено вибіркового аналізу його даних, які стосуються води р. Дністер та її приток [3].

На території Чернівецької області, в її привабливій для рекреації гірській частині, протікають ріки Сучава, Черемош та верхня частина р. Сірет (далі зазначається р. Сірет). Також в ній знаходиться ряд малих річок. Системних, науково обґрунтованих досліджень щодо використання гідробіологічної флори як індикаторів антропогенного забруднення води та екологічного стану басейну водних об'єктів в Буковинських Карпатах і прилеглих територіях до теперішнього часу практично не проведено. Відомі окремі дослідження, які стосуються використання біологічної фауни, в якості індикаторів зміни стану поверхневих вод на теренах Чернівецької області, зокрема [13, 17].

Результати вивчення гідрофлори р. Дністер представлені в ряді робіт різних авторів. У ґрунтовному дослідженні [19] встановлено найбільш важливі показники екологічного стану її гідроекосистеми. В ньому, зокрема, визначено ряд особливостей розповсюдження різних форм водоростей вниз за течією. Головною метою дослідження є встановлення біорізноманіття гідроекосистеми р. Дністер. Основна увага приділена вивченню процесів відновлення промислових запасів біокормів для іхтіофауни. Ряд більш пізніх робіт, наприклад [16,18], значну частину яких складають також дослідження щодо біорізноманіття іхтіофауни, присвячено питанням розведення та відновленні цінних порід риб в акваторіях водосховищ, зокрема Дністровського. В той же час, питанням застосування досліджених об'єктів в якості біоіндикаторів фактичного чи потенційного забруднення води та басейнових територій р. Дністер достатньої уваги не приділено. Також у загальному впливі діючих на гідроекосистему факторів не виділено складову антропогенного забруднення, не вивчено її вплив на кількісні параметри, чисельність та біомасу водоростей і фітопланктону.

Гідрохімічну і гідробіологічну складові комплексного критерію оцінки екологічного стану гідроекосистем застосовано для встановлення параметрів стану басейну р. Сірет та її приток [20]. Однак, в цьому дослідженні також не представлено аналізу кількісних показників чутливості застосованого біоіндикатору до змін в гідроекосистемі в порівнянні з традиційними показниками гідрохімічного моніторингу.

Крім того, не вказано шляхи покращення показників якості з позиції отримання мінерально повноцінної питної води.

Мета і завдання. Метою роботи є оцінка якості води головних транскордонних річок Чернівецької області з точки зору потреб питного водокористування. В основу оцінки покладено порівняння встановлених показників вмісту забруднювачів та їх чинних в Україні допустимих рівнів (ДР) [2]. При встановленні категорії забрудненості води використано нормування, яке зазначене у НД [4] та у Водній Рамковій Директиві ЄС від 2000 року.

Завданням роботи було визначення гідрохімічних і гідробіологічних показників та якості води річок Чернівецької області. Завдання передбачало оцінювання чутливості показників до зміни стану гідроекосистем, визначення потреби корегування хімічного складу води, проведення аналізу гідрохімічної та гідробіологічної складової критерію визначення екологічного статусу і забрудненості гідроекосистеми річок та їх приток.

Методи та об'єкти досліджень. Для встановлення показників якості поверхневих вод застосовані методи фізико-хімічного, атомно-абсорбційного та біологічного аналізу сумісно зі стандартизованими методиками виконання вимірювань (МВВ). Вміст катіонів Ca^{2+} , Mg^{2+} , карбонатів, гідрокарбонатів, перманганатне і біхроматне окиснення (відповідно далі в таблиці скорочено ПерМп ок. та БіХг ок.) визначались згідно МВВ, які наведені в [9]. Там же описані методи визначення гідрохімічних показників, які мають відношення до біологічних процесів у поверхневих водах. Вказані методи використано при визначенні гідрохімічної складової трофо-сапробіологічного (еколого-санітарного) блоку показників критерію екологічного стану гідроекосистем. Для встановлення гідробіологічної складової критерію застосовано методи, які описані в [15].

Об'єкт дослідження – вода транскордонних річок Прут, Сірет та Дністер. Розташування створів відбору проб води було наступним. Створ №11 на р. Прут знаходився на околиці с. Оршівці, нижче за течією від випускного колектору споруд очищення стічних вод м. Снятин (Івано-Франківська область). За створ №12 служив пост спостереження Укргідрометеослужби у м. Чернівці. Створ №13 знаходився на відстані 7 км вниз за течією від випускного колектору очисних споруд підприємства "Чернівціводоканал". Місця відбору води з р. Сірет та її приток – 8 створів вздовж течії в населених пунктах від с. Долишній Шепіт до с. Кам'янка (створ №28). Створи №22 та 25 були вибрані в межах смт Берегомет і вище м. Сторожинець відповідно. Оцінка якості води р. Дністер здійснювалась у створах №31, який знаходився у 2 км вище м. Заліщики (Тернопільська область), (початок адміністративного кордону Чернівецької області), №32 – вище м. Хотин, (початок Дністровського водосховища) та №33 – 1 км вище м. Могилів-Подільський (Вінницька область). Основну експериментальну частину досліджень проведено в період з 2007 по 2015 роки в період літньо-осінньої межени. Факторами антропогенного впливу на гідроекосистеми річок була і є господарська діяльність промислових підприємств, життєдіяльність інфраструктури міст і приватних садиб в населених пунктах, які розташовані вздовж течії річок Прут, Сірет та Дністер, а також їх приток.

Основний матеріал, результати та їх обговорення: Проаналізуємо якість води в головних річках Чернівецької області: Прут, Сірет та Дністер. Розглянемо можливості використання води з позиції потреб споживання на об'єктах господарської діяльності. Бажані показники якості води, зокрема для питного водокористування при цьому не повинні досягати меж, які визначені ДР нормативних документів. В межах діючого законодавства України якісною питною, щодо балансу мінеральних солей, може вважатись вода, показники якої відповідають вимогам критерію фізіологічної повноцінності мінерального складу [2].

Розглянемо результати проведеного моніторингу та ряд даних літературних джерел [3]. В табл. 1 наведено значення гідрохімічних показників неорганічних сполук досліджених вод. Представлені дані є усередненими. Стосовно р. Сірет період

усереднення становив з 2007 по 2011 роки. Усереднення даних стосовно р. Дністер проведено за 1994 – 2009 роки. Результати, які відносяться до р. Прут, стосуються періоду з 2010 по 2015 роки. Різна тривалість та часові періоди дослідження обмежують можливості порівняння результатів. В даній роботі завдання порівняння ставилось лише між ділянками окремо для кожної із річок. Таким чином представлені гіdroхімічні показники та розраховані в подальшому на їх основі параметри якості носять інформативний характер і стосуються лише інтервалів та періодів дослідження. Також, стосовно представлених даних, слід зазначити, що при виділенні маси іонів Na^+ і K^+ з результату їх загальної маси у водах р. Дністер і, частково, р. Прут, в табл. 1 використано відношення $\text{Na}^+/\text{K}^+ \approx 4,2$. Таке значення найчастіше використовується при хімічному аналізі поверхневих вод з незначною мінералізацією [8].

Таблиця 1

Концентрація основних складових хімічного складу води річок Прут, Сірет та Дністер в період літньо-осінньої межени

Назва ріки, місце розташування та номер створу при відборі проби води	Найменування показника								
	натрій, мг/дм ³	калій, мг/дм ³	кальцій, мг/дм ³	магній, мг/дм ³	хлориди, мг/дм ³	сульфати, мг/дм ³	гідрокарбонати, мг/дм ³	жорсткість загальна, ммоль/дм ³	мінералізація, мг/дм ³
р. Прут, с. Оршівці, №11	18,6	4,3	59,4	10,9	29,6	36,2	198	3,9	357,0
р. Прут, вище м. Чернівці, №12	16,3	3,8	57,2	10,8	23,2	33,8	201	3,8	346,1
р. Прут, нижче м. Чернівці, №13	19,1	4,5	60,8	11,6	30,2	28,3	224	4,0	378,5
р. Сірет, смт Берегомет, №22	7,7	1,9	56,3	7,4	11,2	30,5	204	3,4	319,0
р. Сірет, вище м. Сторожинець, №25	8,4	2,1	69,7	8,7	12,1	31,3	194	4,2	326,3
р. Сірет, с. Кам'янка, №28	9,7	2,4	87,2	10,7	14,0	32,0	235	5,3	390,7
р. Дністер, вище м. Заліщики, №31	14,1	3,3	54,2	12,3	47,3	30,6	151	3,1	312,8
р. Дністер, м. Хотин, № 32	27,7	6,6	69,5	13,7	46,4	71,5	176	4,6	411,4
р. Дністер, вище м. Могилів-Подільський, №33	20,0	4,8	59,8	13,4	31,7	33,0	215	4,1	377,7

З табл.1 випливає, що води досліджених річок Прут, Сірет та Дністер за сольовим складом аніонів Cl^- , SO_4^{2-} та показником мінералізації (M_{10}), яка визначена як сума маси іонів, відносяться до II–III-ї категорій якості. Такі води оцінюються як «добрі» та «досить добрі». В контексті характеристики якості питної води розглянемо представлені дані сумісно з аналізом ДР групи показників згаданого вище критерію фізіологічної повноцінності. Середні значення ДР критерію можна трактувати як показники мінерально повноцінного джерела питної води. З даних табл. 1 також випливає, що на час проведення моніторингу концентрація більшості компонентів критерію, а саме катіонів Ca^{2+} , Mg^{2+} , які визначають жорсткість загальну (ЖЗ), катіонів Na^+ , K^+ , а також гідрокарбонатів і пов'язаної з ними лужності загальної (ЛЗ), сухого залишку (СЗ) в досліджених зразках води не перевищує регламентовані значення, а часто знаходяться на межі їх мінімальних величин.

Показники дослідженої води та показники «мінерально повноцінного джерела», які визначені критерієм повноцінності, кількісно можна співставити наступним чином. Позначимо через XX змінні індекси концентрацій критерію та розрахованих за їх допомогою показників. Індекс XX відображає належність концентрації та показників до катіонів Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ і K^+ , а також параметрів критерію: СЗ, ЖЗ і ЛЗ. Між фактичними у досліджуваній воді з i-го джерела концентраціями iC_{XX} в мг/дм³, або ммоль/дм³ та

безрозмірними коефіцієнтами допустимого рівня концентрації (ДРК) – $i k_{XX}$, виконуються рівняння [11]:

$$i k_{Na} \cdot i C_{Na} = 11, i k_{K} \cdot i C_{K} = 11, i k_{J} \cdot i C_{J} = 0,025, i k_{Ca} \cdot i C_{Ca} = 50, i k_{Mg} \cdot i C_{Mg} = 30, \\ i k_{F} \cdot i C_{F} = 0,95, i k_{C3} \cdot i C_{C3} = 350, i k_{ЖЗ} \cdot i C_{ЖЗ} = 4,25, i k_{ЛЗ} \cdot i C_{ЛЗ} = 3,5. \quad (1)$$

Співвідношення (1) вказують на можливість розрахунку значення коефіцієнтів $i k_{XX}$. Ці коефіцієнти для природних вод є різними. Таким чином, в задачі корекції мінерального складу води шляхом її випарювання, або композиції зі знесоленою водою, при розгляді води з багатокомпонентним вмістом солей слід встановити величину оптимального по групі показників, усередненого коефіцієнту ДРК – $i k_{cp}$. Критерій його встановлення доцільно визначити як мінімізацію суми квадратів відхилень коефіцієнтів $i k_{XX}$ від значення $i k_{cp}$. За такої умови величина $i k_{cp}$ буде визначатись як середнє арифметичне за групою показників.

Для природної води число наявних компонентів сольового складу n визначається їх кількістю, які за результатом хімічного аналізу виявлені з достатньо високою концентрацією. Компоненти, які присутні у воді в незначних кількостях, на етапі розрахунку можна не враховувати. В табл. 2 наведено значення коефіцієнту $i k_{cp}$ та його оцінку – середнє квадратичне відхилення (СКВ) $^{dpk} s_{cp}$. Для їх встановлення використано співвідношення (1) і (2) (див. нижче). Представлені дані відповідають водам, які взято у створах кожної із розглянутих річок. Місця розташування створів зазначено вище. Розрахунок СКВ $^{dpk} s_{cp}$ проведено за загальноприйнятим рівнянням, в якому сумування проводиться за всіма n наявними компонентами. Його аналітична формула має вигляд:

$$^{dpk} s_{cp} = \{ [\sum i k_{XX}^2 - ((\sum i k_{cp})^2 / n)] / (n-1) \}^{0,5}. \quad (2)$$

При розрахунках величини $^{dpk} s_{cp}$ по співвідношенню (2) концентрація вважалась значимою, якщо вона перевищувала нижню межу визначення МВВ в 5 разів. У табл. 2 також наведені гідрохімічні індекси і дані про оптимальне для кожного створу значення коефіцієнту розведення $i d_{cp}$, який визначається як $i d_{cp} = 1 / i k_{cp}$.

При розрахунках представлених в табл. 2 величин, СЗ визначався як зменшене на величину добутку (0,4×концентрація гідрокарбонатів) значення мінералізації $M_{Ю}$. Результати розрахунків показали наявність змін у величині коефіцієнтів вниз за течією. Так, зокрема, у воді р. Прут мінімальне та максимальне значення коефіцієнту $i k_{cp}$ спостерігалось у воді створів нижче та вище м. Чернівці. Їх значення становили 1,3794 та 1,4836 відповідно. Незначну різницю між ними можна пояснити як достатньо високою якістю очищення стоків міста, так і значною водністю р. Прут. Для річки Сірет аналогічні величини коефіцієнту $i k_{cp}$ спостерігались у с. Кам'янка та с. Лукавці. Їх величина становить 1,7199 та 2,2849 відповідно. Коефіцієнт розведення $i d_{cp}$ для цих створів змінюється від 0,5814 до 0,4377. Для інших створів спостерігались проміжні значення.

Таблиця 2

Гідрохімічні індекси, значення коефіцієнтів $i k_{cp}$, $i d_{cp}$ та оцінки $^{dpk} s_{cp}$ для води річок Прут, Сірет та Дністер

Найменування показника	Значення показників для води в річках у створах за номерами								
	р. Прут			р. Сірет			р. Дністер		
	№11	№12	№13	№22	№25	№28	№31	№32	№33
Гідрохімічний індекс	$C_{II-0,36}^{Ca-3,9}$	$C_{II-0,35}^{Ca-3,8}$	$C_{II-0,38}^{Ca-4,0}$	$C_{II-0,32}^{Ca-3,4}$	$C_{II-0,32}^{Ca-4,2}$	$C_{II-0,39}^{Ca-5,3}$	$C_{II-0,31}^{Ca-3,1}$	$C_{III-0,41}^{Ca-4,6}$	$C_{II-0,38}^{Ca-4,1}$
Коефіцієнт $i k_{cp}$	1,4533	1,4836	1,3794	2,2849	2,0449	1,7199	1,6638	1,1623	1,2946
СКВ $^{dpk} s_{cp}$	0,8499	0,8374	0,8018	1,9014	1,7014	1,4812	0,9077	0,6013	0,6880
Коефіцієнт $i d_{cp}$	0,6881	0,6740	0,7250	0,4377	0,4890	0,5814	0,6010	0,8603	0,7724

З табл. 2 видно, що для всіх досліджених зразків води коефіцієнти ДРК перевищують величину 1,0. Це означає, що для наближення якості цих вод за вивченими показниками до мінерально повноцінних необхідне їх збагачення мінеральними солями. Найбільшої корекції потребує менш мінералізована вода р. Сірет, особливо у її верхній частині, меншої – води річок Прут та Дністер. Через незначну різницю показника M_{10} для води зазначених річок можна обґрунтовано припустити, що при підготовці води як якісної питної, витрати на корекцію концентрації солей будуть рівнозначними. Покращення води річок Прут, Сірет та Дністер через підвищення концентрації компонентів мінерального складу можна досягнути при застосуванні систем вакуумного випарювання.

Показники трофо-сапробіологічного блоку в еколого-санітарній оцінці визначають екологічну якість гідроекосистем та їх придатність для існування організмів. Аналіз цих показників дозволяє класифікувати поверхневі води за 8-ми категоріями забрудненості. Поряд з гідрохімічною оцінкою це дає змогу визначати та прогнозувати витрати на підготовку води для її використання у якості питної та у господарській діяльності. В табл. 3 представлено частину показників гідрохімічної складової трофо-сапробіологічного блоку. Загальний індекс цього блоку I_2 визначено як величину максимального значення відносної оцінки показників. Для її проведення використано перевідні функції, аналітичний вигляд яких наведено в [12]. Відносна оцінка показника азоту нітратного проведена із застосуванням класифікації та розрахункового співвідношення, яке використовується при визначенні оцінки азоту загального [7]. Результати представлені для води із трьох зазначених вище створів на кожній із річок. Відсутність для створу № 32 р. Дністер значення оцінок фосфору фосфатів та перманганатного або біхроматного окиснення, пов'язана із відсутністю даних про ці показники. Така відсутність інформації позначена, відповідно, символами (®) та (–).

Представлені у табл. 3 оцінки дають можливість зробити висновок, що в досліджені часові періоди вода річок Прут та Дністер в межах території Чернівецької, (а для р. Дністер частково і Вінницької) області відповідала V категорії якості, тобто була «посередньою». За ступенем забрудненості вода річок належить до «помірно забрудненої». Показники якості води р. Сірет у її верхній частині (до смт Берегомет) знаходились між III та IV категоріями. Така вода класифікується як проміжна між «досить доброю» та «задовільною». Нижче за течією, вище та нижче м. Сторожинець, її показники відповідають IV та початку V категорії якості. З деякими припущеннями воду на цих ділянках річки можна визначити як «задовільну». За класифікацією щодо ступеню забрудненості вода р. Сірет належить до категорій, які визначені як «досить чиста», «слабо забруднена» та «помірно забруднена».

Інформація про показники якості поверхневих вод, які традиційно визначаються при плановому моніторингу гідроекосистем, та їх аналіз часто не відображають ступінь забрудненості води. Інформація про специфічні показники часто є відсутньою. Це може призводити до запізненого реагування в системах технологічної підготовки води на зміну її початкової забрудненості. При експлуатації таких систем доцільно враховувати можливість антропогенного забруднення води сполуками як неорганічного, так і органічного походження. Частково вирішенню проблеми щодо повноти відображення забрудненості води може сприяти застосування біоіндикативних технологій. До переваг їх застосування слід віднести постійну присутність біоіндикаторів в гідроекосистемі, їх чутливість до широкого спектру забруднювачів та відносну простоту аналізу.

Особливістю біологічної індикації у водних екосистемах з використанням гідрофауни річок є висока чутливість водних організмів до тривалого впливу малих концентрацій забруднювачів води. Достатньо ефективним способом біоіндикації змін якості річкової води є дослідження просторово-функціональної організації іхтіофауни. Її різноманітності в річках Карпатського регіону, сприяють такі фактори, як незначна забрудненість та високий ступінь аерації води. Ці фактори забезпечують у воді достатньо високий вміст розчиненого кисню, дані про який для річок Прут, Сірет та Дністер

представлено у табл. 3. В той же час, аналіз динаміки видового складу та чисельності риб на певних ділянках водного об'єкту сумісно з показниками забрудненості, дає можливість оцінки його екологічного благополуччя. Це підтвердили дослідження іхтіофауни річки Прут як інтегрального показника погіршення стану, пригніченості водної екосистеми [13]. В результаті опрацювання даних багаторічних спостережень, які проведені регіональними підрозділами гідрометеослужби України, встановлено, що протягом останніх десятиріч у воді річки Прут зростали концентрації хімічних речовин, генезис яких пов'язаний з антропогенним чинником. Зокрема, у меженні періоди відбулись підвищення вмісту нітратного азоту, хлоридів і сульфатів на 100, 50 та 40 відсотків відповідно. Надходження у річкові води органічних речовин техногенного походження викликало підвищену витрату кисню, зменшення прозорості води і пригнічення розвитку бентальних та оксифільних організмів. Антропогенний пресинг став каталізатором регресії іхтіокомплексів р. Прут. Під його впливом відбулося зменшення чисельності більшості видів іхтіофауни та спрощення її видової різноманітності.

Таблиця 3

Значення та відносні оцінки деяких трофо-сапробіологічних показників та індексу I_2 води річок Прут, Сірет та Дністер

Назва річки	№ створу	Представлена величина	Найменування показника								Індекс I_2
			N –NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	N –NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	N –NO ₂ ⁻ , мг/дм ³	P –PO ₄ ³⁻ , мг/дм ³	перМп ок., (БіХг ок.)	БСК ₅ , мгО ₂ /дм ³	кисень О ₂ , мг/дм ³	pH, од. pH	
р. Прут	11	Показник	<0,05	0,117	0,0046	0,126	5,44	3,60	11,2	7,30	4,79
		Оцінка	1,00	1,00	1,87	2,56	1,72	4,79	1,00	1,50	
	12	Показник	<0,05	<0,113	0,0036	0,105	4,10	3,30	10,5	7,50	4,63
		Оцінка	1,00	1,00	1,53	2,22	1,05	4,63	1,00	2,00	
	13	Показник	<0,05	0,181	0,0058	0,067	4,93	4,10	10,3	7,40	5,03
		Оцінка	1,00	1,00	2,16	1,46	1,47	5,03	1,00	1,75	
р. Сірет	22	Показник	0,04	1,340	0,0013	0,019	4,50	1,90	12,4	7,50	3,60
		Оцінка	1,00	2,60	1,00	1,27	1,25	3,60	1,00	2,00	
	25	Показник	0,05	1,500	0,0060	0,020	4,20	2,14	12,3	7,30	4,02
		Оцінка	1,00	3,00	2,20	1,33	1,10	4,02	1,00	1,50	
	28	Показник	0,05	1,520	0,0060	0,030	5,40	2,27	11,5	7,54	4,09
		Оцінка	1,00	3,05	2,20	2,00	1,70	4,09	1,00	2,10	
р. Дністер	31	Показник	0,84	0,870	0,0120	0,090	(27,2)	3,10	11,1	7,83	4,68
		Оцінка	4,68	1,00	3,20	3,80	3,44	4,56	1,00	2,77	
	32	Показник	0,67	1,320	0,0480	(®)	(®)	3,00	8,5	7,41	4,93
		Оцінка	4,34	2,55	4,93	(-)	(-)	4,47	1,00	1,78	
	33	Показник	0,46	0,160	0,0290	0,091	(15,4)	3,80	15,0	7,50	4,89
		Оцінка	3,80	1,00	4,30	3,82	1,57	4,89	1,00	2,00	

Біоіндикатори, які є альтернативою до гідрофауни, представлені гідрофлорою, зокрема фітопланктоном та водоростями. В якості параметрів біоіндикації при дослідженні водних ресурсів можна використати як зміни в різноманітності видів водоростей, так і зміну їх об'ємної чи поверхневої чисельності та біомаси. Використовуються і більш складні показники, наприклад індекс сапробності за Пантле-Букком, або Гуднайтом-Уітлеєм. Для контролю за стабільністю забруднення води поверхневих водних об'єктів ефективним біоіндикатором можна вважати водорості бентосу та перифітону.

При проведенні досліджень води р. Сірет та її приток в якості біоіндикаторів забрудненості води було застосовано придонні та прикріплені форми водоростей. При цьому, використано такі їх показники, як поверхневу чисельність особин досліджуваних видів ^{bo}N та індекс сапробності ^{sp}I . Останній пов'язаний зі ступенем органічного забруднення води. Вибір саме цих показників ґрунтується на їх високій чутливості до якісних змін у водному середовищі. Опис методів визначення ^{bo}N та ^{sp}I представлено в [15]. Результати дослідження зазначених параметрів зведені в табл. 4. Там же наведені розраховані абсолютні значення величин відносного зменшення або приросту показників чисельності ^{bo}N та індексу сапробності ^{sp}I відносно показників референтного створу. Зміни гідрохімічних режимів вниз за течією визначені за коефіцієнтами ДРК для кожного зі створів та величинами їх зменшення. Для цього розраховані вирази:

$$|(^{bo}N_R - ^{bo}N)/^{bo}N_R|, |(^{sp}I_R - ^{sp}I)/^{sp}I_R|, |(i k_{cp}^R - i k_{cp})/i k_{cp}^R|. \quad (3)$$

Таблиця 4

Гідробіологічні показники і коефіцієнти ДРК – $i k_{cp}$ та відносні значення їх змін у воді р. Сірет

Найменування показника	Назва ріки та місце розташування створу						
	р. Сірет, смт Бергомет	р. Сірет, с. Лукавці	р. Міхидра, с. Стара Жадова	р. Сірет, вище м. Сторожинець	р. Сірет, нижче м. Сторожинець	р. Малий Сірет, с. Сучевени	р. Сірет, с. Кам'янка
Чисельність – ^{bo}N , кл/м ²	21913	23 122	12293	10525	4034	12401	6 491
$ (^{bo}N_R - ^{bo}N)/^{bo}N_R $	0,0523	0,0000	0,4683	0,5448	0,8255	0,4637	0,7193
Індекс сапробності – ^{sp}I	1,45	1,38	1,45	1,48	1,70	1,57	1,80
$ (^{sp}I_R - ^{sp}I)/^{sp}I_R $	0,0507	0,0000	0,0507	0,0725	0,2319	0,1377	0,3043
Коефіцієнт ДРК – $i k_{cp}$	2,285	2,328	2,066	2,045	1,997	1,842	1,720
$ (i k_{cp}^R - i k_{cp})/i k_{cp}^R $	0,0184	0,0000	0,1125	0,1216	0,1422	0,2088	0,2612

У виразі (3) величини $^{bo}N_R$, $^{sp}I_R$ та $i k_{cp}^R$ відповідно чисельність, індекс сапробності та коефіцієнт ДРК для води у референтному створі. Враховуючи значення показників та типологію геоморфологічної будови русла у верхній частині р. Сірет, в якості референтного визначено створ, який розташовано у с. Лукавці.

З табл. 4 видно, що показник поверхневої чисельності клітин має тенденцію до зменшення з можливими коливаннями в бік збільшення на окремих ділянках річки. Так, в смт Берегомет його значення становить 21913 кл/м². В створі вище м. Сторожинець значення показника становить 10525 кл/м². Нижче м. Сторожинець це значення зменшується в 2,6 рази, до 4034 кл/м². Далі, вниз за течією у с. Кам'янка, поверхнева чисельність збільшується до 6491 кл/м². Зміна індексу сапробності для цих же створів спостерігається в бік його збільшення. Значення індексу сапробності становить, відповідно, 1,45, 1,48 та 1,70, що вказує на погіршення умов існування живих організмів. Кратність зміни індексу сапробності, а разом з ним і його чутливість до дії антропогенного навантаження на гідро екосистему, є меншою, ніж у показника поверхневої чисельності. Наведені значення показників вказують на наявність негативних факторів впливу на гідроекосистему р. Сірет вниз за течією.

Розглянемо зміни у значеннях коефіцієнту ДРК вздовж русла річки Сірет. Із представлених у табл. 4 даних випливає, що цей коефіцієнт також має тенденцію до зменшення вздовж досліджуваних ділянок її русла. Значення коефіцієнту ДРК відображає

збільшення концентрації розчинних солей вниз за течією. У відносних одиницях таке збільшення поступово досягне значення 12–14 відсотків перед м. Сторожинець, та поза його межами вниз за течією. В межах с. Кам'янка збільшення відносного значення коефіцієнту ДРК досягає величини 0,2612 в порівнянні зі значенням у референтному створі.

Співставлення представлених в табл. 4 абсолютних значень відносних величин поверхневої чисельності клітин водоростей та коефіцієнту ДРК показує, що зменшення чисельності відбувається інтенсивніше, ніж відповідний їм приріст концентрації солей. Таким чином, показник поверхневої чисельності раніше, ніж зміна сольового складу, реагує на трансформацію в гідроекосистемі річки. Незначну залежність показника поверхневої чисельності від концентрації солей у р. Сірет підтверджують розглянуті відносні величини для створів на притоках р. Сірет: річок Міхидра та Малий Сірет. При практично однаковій кількості клітин значення мінералізації для цих створів різняться в 1,25 рази. В той же час, коефіцієнти ДРК води у цих же створах різняться в 1,86 рази. Таке співвідношення між змінами мінералізації та коефіцієнту ДРК вказує на переваги останнього при аналізі змін якості поверхневих вод.

Висновки. Результати моніторингових досліджень води річок Прут, Сірет та їх приток, а також аналіз показників з літературних джерел щодо р. Дністер, розраховані на їх основі коефіцієнти, індекси та категорії якості, дозволяють висловити стосовно водних ресурсів поверхневих вод Чернівецької області наступні положення:

1 Основні гідрохімічні показники води р. Прут, Сірет та Дністер не перевищують відповідні допустимі рівні їх безпеки і якості. Вода зазначених річок за рядом показників є наближеною до показників якісної питної води із фізіологічно повноцінним мінеральним складом. В досліджених водах вміст головних іонів та похідні від них показники відповідають воді з заниженим вмістом мінеральних солей. Покращення показників хімічного складу води р. Прут, Сірет та Дністер можливе шляхом її часткового випарювання. Кількість випареної води визначається встановленими коефіцієнтами розведення. При цьому, показники залишку води є оптимально наближеними до показників води «мінерально повноцінного джерела».

2 В результаті проведеної за показниками трофо-сапробіологічного блоку класифікації вод річок Прут, Сірет та Дністер визначено категорію їх якості. Встановлено вид показника, який визначає величину блокового індексу I_2 . В період проведення досліджень для річок Прут і Сірет таким показником було біологічне споживання кисню – БСК₅. У воді р. Дністер на адміністративному кордоні Чернівецької області визначальним є показник вмісту азоту амонію. У воді на початку Дністровського водосховища показником є азот нітратів. Нижче водосховища, у створі вище м. Могилів-Подільський, визначення індексу I_2 проводиться за показником БСК₅. Вода річок Прут та Дністер належить до «помірно забрудненої». Вода річки Сірет належить до «слабо забрудненої» у верхній частині течії з переходом до «помірно забрудненої» води у нижній частині української ділянки річки.

3 На прикладі р. Сірет застосування в якості біоіндикаторів чисельності водоростей бентосу і перифітону для діагностики забруднення гідроекосистем річок показало їх чутливість до змін у зовнішньому середовищі. При реєстрації невеликих змін, у зазвичай контрольованих гідрохімічних показниках стандартними МВВ, використання водоростей як біоіндикаторів дає можливість отримувати інформацію про наявність процесів, які призведуть в подальшому до видозмін у гідроекосистемах. Можливе пояснення такого явища, імовірно, криється у збільшенні впливу та накопиченні неконтрольованих антропогенних забруднювачів, концентрація яких зростає з віддаленням досліджуваних ділянок річки від референтних територій.

4 Практична цінність проведених досліджень полягає в твердженні того, що оцінку якості поверхневих вод за групою гідрохімічних показників доцільно доповнювати результатами біоіндикативних методів контролю. Такий підхід поряд з показниками

еколого-санітарного блоку є важливим для інтегральної оцінки забрудненості джерел питного та господарського водокористування. Отримані результати за вивченими змінами у гідроекосистемі р. Сірет, за допомогою водоростей придонних форм, вказують на додаткові можливості в оцінці якості води та доцільність такого роду досліджень для інших гідроекосистем. Таким чином, використання показника поверхневої чисельності водоростей може забезпечити діагностику змін в гідроекосистемі на їх ранніх стадіях.

Література

- 1 Афанасьєв С.О. Структура біотичних угруповань та оцінка екологічного статусу річок басейну Тиси/ С.О.Афанасьєв. – К., СП «Інтертехнодрук», 2006. – 101 с.
- 2 Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною: ДСанПіН 2.2.4-171-10. – [Чинний від 2010–07–01].
- 3 Гідрохімічний режим та якість поверхневих вод басейну Дністра на території України / В.К. Хільчевський, О.М. Гончар, М.Р. Забокрицька та ін.; за ред. В.К. Хільчевського та В.А. Старука. – К.: Ніка – Центр, 2013. – 256 с.
- 4 Екологічна оцінка якості поверхневих вод суші та естуаріїв України. Методика. КНД 211.1. 4.010-94.- Затверджено наказом № 126 від 28.12. 94 р.
- 5 Емельянова В.П. Оценка поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям / В.П. Емельянова, Г.Н. Данилова, Т.Х. Колесникова // Гидрохимические материалы. – Л.: Гидрометеомздат, 1983. – Т. 88. – С. 119 – 129.
- 6 Караван Ю. В. Характеристика гідрохімічного режиму та оцінка якості води річок басейну Верхнього Сірету / Ю. В. Караван // Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія: Наук. зб. – К.: Вид. – во географічної літератури «Обрії». - 2012. – Т. 1 (26). – С. 102–107.
- 7 Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / А.В. Грищенко, О.Г. Масенко, Г.А. Вертиченко та ін. – Харків: Укр. НДІ ЕП. – 2012. – 37 с.
- 8 Никаноров А.М. Гидрохимия: Учебное пособие / А.М. Никаноров, Е.В. Посохов. - Л.: Гидрометеомздат, 1985. – 232 с.
- 9 Новиков Ю.В. Методы исследования качества воды водоёмов / Ю.В. Новиков, К.О. Ласточкина, З.Н. Болдина. Ред. А.П. Шицковой.- М.: Медицина,- 1990. – 400 с.
- 10 Програма розвитку туризму в Чернівецькій області на 2016–2020 роки, затверджена рішенням IV сесії VII скликання Чернівецької обласної ради за № 20 – 4/16. – [чинна від 15.03.2016].
- 11 Сінченко В.Г. До питання корекції методом композиції мінерального складу при знесолюванні води з джерел локального водокористування в контексті фізико-географічного районування території / В.Г. Сінченко // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористання. Науково-технічний журнал. Спеціальний випуск.- Івано-Франківськ: Видавництво ІФНТУНГ, 2014. – С. 15–23.
- 12 Сніжко С.І. Оцінка та прогнозування якості природних вод: Підручник. – К.: Ніка – Центр, 2001. – 264 с.
- 13 Соловей Т.В. Іхтіофауна Пруту як інтегральний показник антропогенної сукцесії водної екосистеми / Т.В. Соловей // Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія: Наук. зб. – К.: Ніка – Центр , 2002. – Том 2. – С. 192–196.
- 14 Соловей Т.В. Гідрохімічне районування річкових вод Прутського басейну / Т.В. Соловей // Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія: Наук. зб. – К.: Ніка – Центр, 2003. – Том 5. – С. 275–281.
- 15 Унифицированные методы исследований качества вод. Ч. 3. Методы биологического анализа вод. – М. : СЭВ, 1975. – 185 с.
- 16 Худий О.І. Сучасний стан іхтіоценозів транскордонних водотоків Чернівецької області / Україна – Румунія: Транскордонне співробітництво. Збірник наукових праць. – Чернівці: Рута, 2007. – С. 209 -220.
- 17 Худий О.І. Созологічна характеристика іхтіофауни басейнів Дністра, Пруту та Сірету в межах Карпатського регіону України / О.І. Худий, Л.В. Худа // Сучасні проблеми теоретичної та прикладної іхтіології: Матеріали IX Міжнародної іхтіологічної науково-практичної конференції, (Одеса 14–16 вересня 2016 р.). – Одеса: ТЕС., 2016. – С. 276–279.
- 18 Чередарик М.І. Екологічна характеристика альгофлори гідроекосистеми верхнього Дністра / М.І. Чередарик, О.І. Худий // Наукові основи збереження біологічної різноманітності. Тематичний збірник, вип. 4, 2002. – С. 107–110.

19 Экологическое состояние реки Днестр: Монография / Л.В. Шевцова, К.А. Алиев, О.А. Кузько и др. – К.: Редакция «Гидробиологического журнала», 1998. – 148 с.

20 Karavan J. The Determination of Anthropogenic Regressing of aquatic ecosystem of the Siret river basin by phytoplankton / J. Karavan, Yu. Yuschenko, T. Solovej // Journal of Water and Land Development. Volume 19, Issue 1, 2013. – P. 53–58.

21 Korchemlyuk M. Estimation of key pressures on Prut river basin in Ukrain / M. Korchemlyuk, L. Arkhurova // Екологічна безпека, №1(19), 2015. – С. 41–45.

© В. Г. Сінченко,
А. М. Николаєв,
Ю. В. Караван,
М. М. Тураш

*Надійшла до редакції 20 листопада 2017 р.
Рекомендувала до друку
докт. техн. наук Л. М. Архипова*

ЕКОЛОГІЯ ФІТОСФЕРИ

УДК 632.53:58.072 (477)

І. О. Рибалка, Ю. І. Вергелес

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. БекетоваДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОМЕЛИ БІЛОЇ (*VISCUM ALBUM L.*)
НА ПРИРІСТ БІОМАСИ ДЕРЕВ (НА ПРИКЛАДІ ТОПОЛІ КАНАДСЬКОЇ,
POPULUS DELTOIDES MOENCH.)

Зелені насадження в умовах міст створюють сприятливі умови для проживання людини. Вони виконують регулюючі, продукційні і соціально-культурні функції. В той же час у містах формуються численні несприятливі фактори, які здатні негативно впливати на життєвість дерев, одним із яких є інвазія омели білої (*Viscum album L.*). Подано результати дослідження впливу омели на приріст біомаси дерев (на прикладі тополі канадської, *Populus deltoids Moench.*). Дослідження проведено в південно-східній частині м. Харків (Україна). Для встановлення кількості кущів омели в кожній окремій дискретній групі популяції застосовували оригінальну методику бальної оцінки чисельності: для кількості кущів від 1 до 5 індекс чисельності становив "1"; для 6–10 – "2"; 11–20 – "3"; 21–40 – "4" і т. д. Для перевірки гіпотези щодо нормальності розподілу спостережень у досліджуваних вибірках застосовано критерії Колмогорова-Смірнова (з виправленням Ліллефорса) та Шапіро-Уїлка тощо. Гіпотезу про наявність впливу омели білої на приріст біомаси дерев перевірено із застосуванням t-критерію Стюдента. Встановлено, що рослина-напівпаразит може спричинювати скорочення асиміляційного апарату дерев-живителів більш ніж на 20 %.

Ключові слова: насадження, омела біла, тополя канадська, скорочення біомаси.

Urban tree stands provide for key ecosystem services – productive, regulative and cultural. At the same time, they are negatively influenced by certain factors of anthropogenic (emissions from industries and traffic, application of de-icing salts) and biotic (infestation by the mistletoe species) origin. The White Mistletoe (*Viscum album L.*) is an evergreen hemiparasitic dwarf shrub with persistent haustoria. A dwarf's diameter may reach up to 90 (120) cm, and the lifespan – over 45 years. A number of fruit-eating birds such as the Waxwing and the Mistle Thrush disperse this dwarf shrub. Mistletoe "seeds" survive the passage through the digestive tract of birds unharmed and are released with the faeces. Modern distribution range of the White Mistletoe in Europe extends from 10° W to 80° E and from about 35° S to 60° N. The limiting factor for the northern and eastern distribution of mistletoe is mean annual temperature. The Mistletoe is known to cause deterioration of tree health (i.e. trees infested by the White Mistletoe show increased defoliation and dieback, reduced growth and productivity) as well as aesthetic appearance. The aim of the study was to investigate the effects of the White Mistletoe's (*Viscum album L.*) infestation on the Cottonwood's (*Populus deltoids Moench.*) leaf area and biomass. Field survey was carried out in the city of Kharkiv, NE Ukraine. We measured total leaf area (cm²) and live biomass (g) of a sample of 25 randomly picked leaves from 20 annual branches infested by the Mistletoe and from 20 annual branches free of Mistletoe's infestation collected from mature model Cottonwood trees in the roadside stands. The hypothesis of normal distribution of variables was tested with the Kolmogorov-Smirnov test (with the Lillefors' correction) and the Shapiro-Wilk test etc. Hypothesis on the Mistletoe's influence on the amount of Cottonwood's photosynthetic tissues was tested with the Student's t-criterion. Our results have shown that the White Mistletoe's infestation may decrease the amount of assimilative tissues at the urban Cottonwood trees by ca. 20 %.

Key words: tree stands, the White Mistletoe, Cottonwood, live biomass decrease.

Постановка проблеми. Зелені насадження в умовах міст створюють сприятливі умови для проживання людини [4], зокрема:

- охолоджують міський «острів тепла» за рахунок збільшення альбедо поверхні й транспірації;
- стабілізують вітровий режим, «розвантажують» повітряні маси;
- збільшують відносну вологість повітря і «згладжують» її добові і сезонні коливання;
- виділяють в атмосферу кисень;
- збільшують в атмосфері концентрації негативно заряджених іонів, що покращує здоров'я людини;
- виділяють біологічно активні речовини, які пригнічують розвиток патогенних агентів в атмосфері;
- поглинають пил і гази, що забруднюють атмосферне повітря;
- знижують рівень шуму шляхом поглинання енергії механічних коливань, які його спричиняють;
- затримують частину опадів і зменшують поверхневий стік;
- поліпшують структуру, збільшують проникність і, в ряді випадків, родючість ґрунтів;
- затримують сніговий покрив і талі води;
- закріплюють сипучі ґрунти, знижують рівень ерозії;
- поліпшують візуальні властивості урбанізованих ландшафтів тощо [11].

Водночас у містах формуються численні несприятливі фактори, які здатні негативно впливати на життєвість дерев. Так, у публікації Ф. М. Левона окреслено [6] основні чинники, які впливають на стійкість насаджень у населених пунктах України, при цьому на третьому місці після впливу автотранспорту (отруєє міське повітря шкідливими для дерев сполуками, ущільнює і забруднює ґрунт під деревами і наносить їм механічні пошкодження, особливо при паркуванні на вулицях) і хлористих солей (використовуються для прискорення танення снігу й льоду у зимовий період) зазначено надмірне розповсюдження омели білої (*Viscum album* L.).

Омела біла – це вічнозелений кулястий напівпаразитний «кущ» родини Ремнецевітих. Воду і мінеральні речовини вона отримує від дерева-живителя, на якому оселяється, а органічні речовини синтезує самостійно. Природний ареал поширення омели білої, австрійської та ялицевої в Європі простягається від 10° зх. д. до 80° сх. д. і від 60° пн. ш. до 35° пд. ш. Лімітуючим чинником, який обмежує розповсюдження омели у північному та східному напрямках, є середньомісячна температура січня [9].

Вважається, що омела спричиняє суттєве зниження енергії росту, втрату декоративності та врожайності деревних культур, а також є причиною зниження довговічності насаджень: призводить до часткової або суцільної суховерхості та поступового усихання дерев [7, 9].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. А. Ріглінг та ін. зазначають [16], що ступінь усихання сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) в сухих внутрішніх долинах європейських Альп залежить від ступеня зрідження крон і зараженості омелою австрійською (*Viscum album* ssp. *austriacum*). При однаковому рівні зрідження крон імовірність відмирання дерев із високим та середнім ступенем зараження омелою була у 2–4 рази вищою, ніж у здорових або мало заражених омелою дерев. Усихання дерев унаслідок втрати листя та нестачі води відбувалося в результаті спільного впливу посухи і зараження омелою.

Так, дослідження, проведені в США, ґрунтовно свідчать, що омела карликова (*Arceuthobium douglasii* Engelm.) спричинює деградацію крони у дугласії (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) через скорочення приросту фотосинтезуючих тканин приблизно в два рази [17]. Аналогічні результати з місцевим видом омели (*Peridermium bethelii* Hedgc. & Long), який паразитує на хвойних (*Pinus* spp.), було отримано Ф. Г. Хоксуортом та

ін. [15]. Швейцарські дослідники, які визначали вплив омели (*Viscum album ssp. austriacum*) на сосну звичайну (*Pinus sylvestris* L.), встановили, що маса шпильок на інфікованих омелою гілках в порівнянні з контролем (гілки подібного діаметра) може зменшуватися аж на 77 % [16]. За даними британських дослідників Х. Дейл і М. С. Преса [13] інфіковані омелою (*Orobancha minor* Sm.) дерева накопичували також значно менше біомаси у порівнянні із здоровими. Отже, численні дослідження, свідчать, що різні види омели спричиняють суттєве скорочення приросту фотосинтезуючих тканин у хвойних видів. Дослідження впливу омели білої на асиміляційний апарат листяних видів деревних рослин (тополя, клен тощо) не проводили. Можна припустити, що її вплив буде аналогічним, але цю гіпотезу необхідно перевірити.

Відомо, що найбільш уразливими до впливу омели є великорозмірні деревні рослини [14, 18], особливо тополі [2, 10]. Так, тополя канадська (*Populus deltoides* Moench.) представляє велику цінність для зеленого будівництва завдяки стійкості до міських умов, швидкому зростанню, великим розмірам, декоративності (дерево має темно-зелене листя, яке зберігається до глибокої осені), але наразі потерпає від впливу омели. Тому вивчення впливу омели білої на приріст листової маси тополі канадської є актуальним на цей час.

Мета даного дослідження – виявлення впливу омели білої (*Viscum album* L.) на асиміляційний апарат листопадних видів дерев (на прикладі тополі канадської, *Populus deltoides* Moench.).

Виклад основного матеріалу. Дослідження проведено на території м. Харків. За ландшафтним районуванням вона відноситься до Харківської схилово-височинної області Середньоруської лісостепової провінції Східноєвропейської рівнинної ландшафтної країни і розташована на південному заході Середньо-Руської височини. Клімат помірний, із середньорічною кількістю опадів 500–570 мм і середніми температурами січня – -8°C, липня – понад 20°C. Основні генетичні типи ґрунтів – чорноземи (які утворилися на лесах різного механічного складу) і сірі опідзолені лісові ґрунти, які на території міста зазнали істотної антропогенної трансформації [11].

Ділянка, на якій проводили дослідження (липень 2017 року), знаходилася в південно-східній частині м. Харків у районі ХТЗ (Харківський тракторний завод). Саме тут ще декілька років тому спостерігалася найвища щільність популяції омели [1]. Модельні дерева (N = 3) було відібрано у середньовікових насадженнях, які зростали в придорожній смузі. Вони займали перший ярус у полозі, мали приблизно однакову висоту та досить схожі характеристики стану крони.

Ступінь ураження деревних рослин омелою білою визначали з використанням бальної шкали, запропонованої Ю. І. Вергелесом та І. О. Рибалкою: для кількості кущів омели від 1 до 5 індекс чисельності становить «1»; для 6–10 – «2»; 11–20 – «3»; 21–40 – «4» [9]. Клас санітарного стану досліджуваних дерев визначали за семибальною шкалою А. Д. Маслова [3]. З кожного модельного дерева із периферійної частини крони зрізали по 4–5 пар гілок інфікованих омелою і здорових (контроль).

Вплив омели білої на фотосинтезуючі тканини оцінювали шляхом вимірювання зеленої біомаси і площі листя. Для цього з кожної досліджуваної гілки (всього було відібрано 10 пар гілок) із річного пагону відбирали випадково по 25 листків. Для визначення зеленої біомаси відібраного матеріалу використовували портативні електронні лабораторні ваги. Далі листя було відскановане сканером (Samsung SCX-4220; 600 dpi). Для визначення площ листових пластинок (N = 500) було застосовано програмне забезпечення *ImagJ 8* [12]. Результати такого вимірювання досить точні у порівнянні з традиційними методами, так як площа листя оцінювалася з урахуванням нерівностей краю листової пластинки, рис. 1.

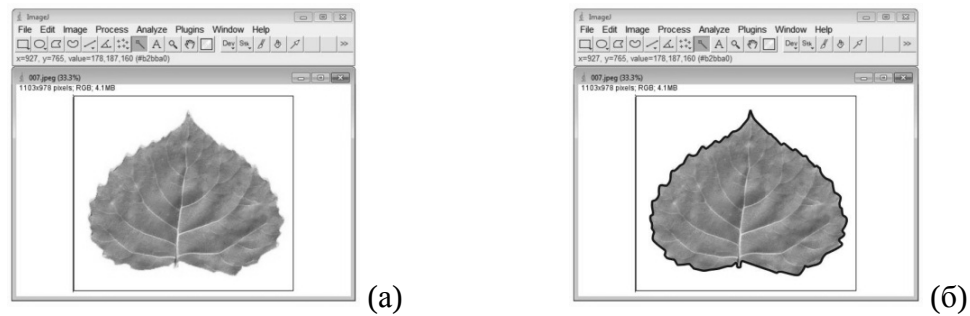


Рис. 1. Приклад визначення площі листової пластини методом сканування з застосуванням програмного забезпечення *ImageJ 8*: (а – вихідне зображення листка; б – результати визначення його контурів (на основі довжини))

Отримані дані були проаналізовані статистично. Для перевірки гіпотези щодо нормальності розподілу спостережень у досліджуваних вибірках було застосовано критерії Колмогорова-Смірнова (з виправленням Ліллефорса), Шапіро-Уїлка (програмний пакет *Statistica 10.0*), а також визначено відношення розмаху мінливості в кожному досліджуваному варіаційному ряді до його стандартного відхилення за формулою:

$$C = \frac{P}{\sigma}, \quad (1)$$

де P – розмах коливань, тобто значення, отримане шляхом віднімання мінімального спостереження із максимального; σ – стандартне відхилення ряду (розраховано засобами програми *MS Excel 2013*).

Гіпотеза щодо нормальності розподілу приймається як робоча, якщо тест Колмогорова-Смірнова (з виправленням Ліллефорса) має рівень значущості $p \geq 0,2$, тест Шапіро-Уїлка – $p \geq 0,5$ та якщо величина C знаходиться в межах довірчих інтервалів, які вказано у відповідних джерелах [8].

Після перевірки вихідних даних на нормальність із застосуванням трьох тестів, робочу гіпотезу було перевірено із застосуванням параметричного t -критерію Стьюдента [5].

Досліджувані деревні рослини мали 6-й ступінь ураження омелою, клас санітарного стану за А.Д. Масловим – 3 (дерево суховершинне: видимі пошкодження (всихання) до 1/3 крони, всихання верхівки). Основні статистики, розраховані за даними вимірювань і результати перевірки вихідних даних на достовірність, представлено в табл. 1 (перша вибірка – це дані, які зібрано для здорових гілок, друга – для інфікованих).

Таблиця 1

Результати статистичного аналізу зібраних даних

Ознака	№ вибірки	Об'єм вибірки	Середнє, похибка	Min	Max	Стандартне відхилення	Достовірність середніх	
							$t_{\text{факт.}}$	$t_{0,001}$
Маса листя, г	1	10	18,00±1,26	12,00	26,00	4,00	14,23*	4,78
	2	10	13,60±1,11	8,00	20,00	3,50	12,28*	
Середня площа листової пластинки, см ²	1	10	26,47±2,17	18,33	42,02	6,87	12,17*	
	2	10	20,26±1,58	13,66	30,61	4,99	12,83*	

Результати визначення рівнів значущості для критеріїв Колмогорова-Смірнова (з виправленням Ліллефорса) та Шапіро-Уїлка, а також розрахунку величини C за формулою (1) наведено у табл. 2.

За результатами трьох проведених тестів робочу гіпотезу щодо нормальності розподілу даних спостережень у досліджуваних вибірках було стверджено.

Таблиця 2

Оцінка нормальності розподілу спостережень у досліджуваних вибірках

Ознака	№ вибірки	Тест Колмогорова-Смірнова (з виправленням Лілліфорса)	Тест Шапіро-Уїлка	C	Тест на нормальність
Маса листя, г	1	$p < 0,20^*$	$p = 0,80285^*$	$3,50^*$	позитивний
	2	$p < 0,20^*$	$p = 0,56036^*$	$3,43^*$	позитивний
Середня площа листової пластинки, см ²	1	$p < 0,20^*$	$p = 0,13427$	$3,45^*$	позитивний
	2	$p < 0,20^*$	$p = 0,55055^*$	$3,39^*$	негативний

Примітки: * – робоча гіпотеза щодо нормальності розподілу приймається.

Аналіз зібраних даних дозволив встановити, що омела біла спричинює скорочення приросту фотосинтезуючих тканин більш ніж на 20 % у порівнянні з контролем. Отже, рослина-напівпаразит зменшує наявність асимілятів не тільки шляхом їх безпосереднього вилучення з соку ксилеми дерев-живителів, про що зазначалося вище, але також опосередковано через скорочення площі листя. Різниця між ураженими та здоровими деревами є статистично достовірною (табл. 3).

Таблиця 3

Результати визначення достовірності різниці між середніми

Ознака	Об'єм димірної вибірки	Помилка різниці між середніми, S_{dp}	Достовірність різниці між середніми	
			$t_{факт.}$	$t_{0,05}$
Маса листя, г	20	1,68	$2,62^*$	2,10
Середня площа листової пластинки, см ²	20	2,69	$2,31^*$	

Отримані нами результати узгоджуються з результатами, отриманими дослідниками із США, Швейцарії та Великобританії [13, 15–17]. У публікації [18] зазначено, що омелі притаманний вищий показник транспірації, ніж її деревам-живителям, підтриманню якого сприяє додатковий механізм відкриття продихів. Як можливий результат, зменшується фіксація карбону (вуглецю), а отже – і площа фотосинтезуючих тканин. Враховуючи, що в першу чергу омела оселяється на скелетних гілках, для вражених нею дерев буде характерною нестача поживних речовин у верхівці крони, що проявиться не лише через зменшення маси листків, але і через атрофію гілок: вода та мінеральні речовини, які транспортуються від коренів до місця інфікування, поглинаються омелою. Локальне порушення балансу надходження та витрат поживних речовин окремої гілки може спричинити її відмирання. Порушення перебігу фізіологічних процесів у дереві, яке дуже сильно вражене омелою, може стати причиною його повної загибелі.

Разом із тим, швейцарські дослідники встановили, що загальна фотосинтетична активність у інфікованих омелою гілок сосни звичайної не була суттєво нижчою ніж у здорових, оскільки шпилькова маса на неінфікованих омелою гілках майже дорівнювала шпильковій масі на інфікованих разом із кущами омели [16]. Тобто можна припустити, що асиміляційний апарат рослини-напівпаразита може компенсувати внесок втраченого деревом-живителем листя, зокрема у санацію повітря від шкідливих домішок, але для кількісної оцінки такого ефекту потрібно проводити додаткові дослідження.

Висновки та перспективи досліджень. За результатами дослідження на рівні значущості $p = 0,05$ встановлено, що омела біла спричинює скорочення приросту фотосинтезуючих тканин у дерев-живителів. Це означає, що вони не можуть повною мірою виконувати всі свої екосистемні функції, що може мати негативні наслідки для довкілля (а відтак, і здоров'я населення). З іншого боку, омела біла також виконує ряд важливих екосистемних функцій, а тому розглядати її як виключно шкідливу рослину в умовах міст не варто.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на визначення впливу омели білої та її дерев-живителів на стан атмосферного повітря урбоєкосистем.

Подяки. Автори висловлюють подяку доц. Ю. Л. Коваленку та І. П. Кримському за безцінну допомогу в організації даного дослідження.

Література

- 1 Бараннік В. О., Вергелес Ю. І., Рибалка І. О. Матрична модель прогнозу динаміки популяції омели білої у міському ландшафті // Наук.-техн. зб. Коммунальное хозяйство городов. Сер. «Технічні науки й архітектура». 2010. № 93. URL: http://eprints.kname.edu.ua/17110/1/392-396_%D0%91%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%96%D0%BA_%D0%92%D0%9E.pdf (дата звернення: 13.11.2017).
- 2 Василенко І. Д., Філіпова Л. М., Фучило Я. Д. Боротьба з омелою на деревах тополі у зеленій зоні Білої Церкви // Науковий вісник НЛТУ України. 2013. № 23/12. URL: http://nltu.edu.ua/nv/Archive/2013/23_12/31_Was.pdf (дата звернення: 13.11.2017).
- 3 Вергелес Ю. І. Фенологія деревних рослин восени в умовах урбанізованого довкілля: методичні вказівки. Харків, 2011. 24 с.
- 4 Капелюш Н. В. Вплив аерогенного забруднення на показники асиміляційного апарату деревних рослин міста Запоріжжя. URL: <http://web.znu.edu.ua/herald/issues/2012/bio-3-2012/111-115.pdf> (дата звернення: 13.11.2017).
- 5 Лакин Г. Ф. Биометрия: учебное пособие для биологических специальностей ВУЗов. Москва, 1990. 352 с.
- 6 Левон Ф. М. Створення зелених насаджень в умовах урбанізованого середовища: вимоги, лімітуючі чинники, шляхи оптимізації // Науковий вісник Державного лісотехнічного університету України. 2003. № 13/5. URL: http://nltu.edu.ua/nv/Archive/2003/13_5/157_Lewon_13_5.pdf (дата звернення: 13.11.2017).
- 7 Миняева О. Распространение омелы и борьба с ней (США). Москва, 1975. 34 с.
- 8 Никитин А. Я., Сосунова И. А. Анализ и прогноз временных рядов в экологических наблюдениях и экспериментах. Иркутск, 2003. 88 с.
- 9 Рибалка І. О., Вергелес Ю. І., Коваль І. М. Вплив омели білої (*Viscum album* L.) на динаміку радіального приросту клена сріблястого (*Acer saccharinum* L.) в Лісостеповій зоні України // Науковий вісник НЛТУ України. 2012. № 22/15. URL: http://nltu.edu.ua/nv/Archive/2012/22_15/57_Ryb.pdf (дата звернення: 13.11.2017).
- 10 Рибалка І. О., Вергелес Ю. І. Ураження насаджень омелою білою (*Viscum album* L.) як проблема екологічної безпеки в садово-парковому господарстві населених пунктів України // Наук.-техн. зб. Харківського Коммунальное хозяйство городов. Сер. «Технічні науки й архітектура». Харків, 2017. № 134. URL: file:///C:/Users/User/Downloads/kgm_tech_2017_134_24.pdf (дата звернення: 13.11.2017).
- 11 Стольберг Ф. В. Экология города: учебник. Киев, 2000. 88 с.
- 12 Abramoff, M.D., Ram, S.J. (2004), "Image Processing with ImaJ", Biophotonics International, vol. 11, no. 7, pp. 36-42.
- 13 Dale, H., Press, M.C. (1998), "Elevated atmospheric CO2 influences the interaction between the parasitic angiosperm *Orobanche minor* and its host *Trifolium repens*", New Phytologist, vol. 140, no. 1, pp. 65-73.
- 14 Donohue, K. (1995), "The Spatial Demography of Mistletoe Parasitism on a Yemeni Acacia", International Journal of Plant Sciences, vol. 156, no. 6, pp. 816-823.
- 15 Hawksworth, F.G., Dixon, C.S., Krebill, R.G. (1983), "Peridermium bethelii – a rust associated with Lodgepole Pine Dwarf Mistletoe", Plant Diseases, vol. 67, pp. 729-733.
- 16 Rigling, A., Eilmann, Br., Koechli, R., Dobberty, M. (2010), "Mistletoe-induced crown degradation in Scots Pine in a xeric environment", Tree Physiology, vol. 30, pp. 845-852.
- 17 Smith, L., Mathiasen, R., Hofstetter, R. (2011), "Biomass of Witches' Brooms Caused by Douglas-Fir Dwarf Mistletoe in Northern Arizona", Journal of the Arizona-Nevada Academy of Science, vol. 43, no. 1, pp. 40-47.
- 18 Zuber, D. (2004), "Biological flora of Central Europe: *Viscum album* L.", Flora, vol. 199, pp. 181-203.

© І. О. Рибалка,
Ю. І. Вергелес

Надійшла до редакції 15 листопада 2017 р.
Рекомендував до друку
докт. техн. наук Я. О. Адаменко

УРБООЕКОЛОГІЯ

УДК 504.064.2

Т. І. Кривомаз, Д. В. Варавін
Київський національний університет
будівництва та архітектури

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В ПРОЦЕСІ ЕКОЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ РЕКОНСТРУКЦІЇ ЖИТЛОВОГО ФОНДУ В м. КИЄВІ

В результаті дослідження стану житлового фонду м. Києва та перспектив його реконструкції виділено основні рівні впровадження екоенергоефективних заходів з урахуванням зростання співвідношення витрати/ефективність, що включають оцінку проблеми, оптимізацію енерговитрат, екоенергоефективну реконструкцію житла, застосування інноваційних технологій. На основі національного та міжнародного досвіду реконструкції та капітального ремонту запропоновано концепцію 6Е, що акцентує увагу на енергоефективності, екобезпеці, економії, екології, ергономічності та естетиці процесу реконструкції житлових споруд. Дотримання основних вимог екоенергоефективності в процесі реконструкції житла забезпечить комфорт мешканцям та дозволить підвищити рівень екологічної безпеки нашої країни. Впровадження принципів енергоефективності в процес реконструкції житлового фонду є невід'ємною складовою екологічної та національної безпеки України, оскільки це дозволить знизити негативний вплив на навколишнє середовище та людину, а також значно зменшить кількість відходів будівельної галузі.

Ключові слова: реконструкція, будівництво, житловий фонд, енергоефективність, екологічна безпека.

As a result of research into the state of the housing stock in Kiev and the prospects for its reconstruction, the main levels of implementation of eco-energy-efficient measures have been identified, taking into account the increasing cost / effectiveness ratio, which will include problem assessment, optimizing energy costs, eco-energy efficient housing reconstruction, application of innovative technologies. Based on the national and international experience of reconstruction and overhaul, the 6E concept is proposed, which focuses on energy efficiency, environmental safety, economy, ecology, ergonomics and aesthetics of the reconstruction process. Compliance with the basic requirements of eco-energy efficiency in the process of housing reconstruction will ensure the comfort of residents and will improve the level of environmental safety of our country. Introduction of the principles of energy efficiency in the process of reconstruction of housing stock is an integral part of Ukraine's environmental and national security, as it ensures a reduction in the negative impact on the environment and people, and also significantly reduces the waste of the construction industry.

Key words: reconstruction, building, housing stock, energy efficiency, environmental safety

Постановка проблеми. Реконструкція житлового фонду у відповідності до сучасних вимог енергоефективності та комфорту є однією з найактуальніших проблем екологічної безпеки міст України. Нагальні потреби сьогодення вимагають перегляду підходів до формування житлової політики шляхом розвитку програм реконструкції та капітального ремонту житлового фонду орієнтованих на енергозбереження. У країнах з розвинутою ринковою економікою, останнім часом, спостерігається тенденція до скорочення інвестицій в нове житлове будівництво. Це викликано, з одного боку, скороченням позик на житло для найбільш забезпеченої частини населення, а з іншого боку – зниженням попиту з боку менш забезпечених категорій населення. Крім того, у

деяких країнах відбувається переорієнтація інвестицій з будівництва нового житла на реконструкцію і модернізацію існуючого житлового фонду. Особливо гостро питання реконструкції застарілого житла стоїть у столиці та інших великих містах нашої країни, де потенціал площі для новобудов практично вичерпаний, особливо в центральних районах. З метою підвищення зацікавленості власників житлових та нежитлових приміщень у житлових будинках у створенні ОСББ та реалізації енергоефективних заходів у житловому фонді Київською міською радою прийнято низку рішень про впровадження програм фінансування реконструкції, реставрації, проведення капітальних ремонтів, технічного переоснащення спільного майна у багатоквартирних будинках м. Києва [8, 9, 10]. Ці програми дають змогу підвищити енергоефективність та енергозбереження житлового фонду столиці, скоротити витрати мешканців на сплату житлово-комунальних послуг та забезпечити комфортні умови проживання киян.

Аналіз публікацій і досліджень. Останнім часом проблемам енергоефективності приділяється багато уваги не тільки в соціально-політичній сфері, але й у наукових працях деяких вітчизняних дослідників. Зокрема у роботах Ю. В. Орловської визначаються резерви зростання економічного потенціалу енергоефективності житлового будівництва та енергомісткість побутового сектора, пропонуються шляхи підвищення енергоефективності житлового будівництва на регіональному рівні та напрями запровадження політики енергозбереження [7]. Джерела фінансування заходів з підвищення енергоефективності будівель та програми фінансування для підвищення енергоефективності житлових будівель за регіонами проаналізовано в роботах О. В. Комеліної та С. А. Щербіної [5]. У працях М. М. Климчук проведено контент-аналіз існуючих практик реалізації заходів енергозбереження та запропоновано їх класифікацію. Запропоновано стратегічні пріоритети державної політики та імплементацію сучасних концепцій енергозбереження, зокрема «Green Lease», «Passive House» та «Triple Zero» [4]. Проте, у згаданих працях більше уваги приділяється економічному аспекту реконструкції житлового фонду і зовсім не розглядається надзвичайно важливий вплив даного процесу на екологічну безпеку навколишнього середовища та людини.

За інформацією наданою Департаментом житлово-комунальної інфраструктури Київської міської державної адміністрації станом на 01.07.2017 в м. Києві нараховується 11453 житлових будинки, з них 8407 – житлові будинки комунальної власності, 900 – будинки ЖБК, 534 - житлові будинки збудовані за кошти громадян. У 2016 р. в цілому по м. Києву за рахунок будівництва нових житлових будинків і реконструкції існуючого житлового фонду прийнято в експлуатацію 247 житлових будинків загальною площею 1334,0 тис.м², що складає 97,7% від обсягів житла, прийнятого у 2015 р [1]. В м. Києві на початок 2017 р. в експлуатації знаходилось 55,4 тис.м² старого та аварійного житла, що становить 0,1% від усього житлового фонду [3]. Кількість мешканців, які мали реєстрацію місця проживання у цих житлових будинках складала 1616 осіб (табл. 1).

Відсоткове співвідношення житлового фонду м. Києва обладнаного будинковими вимірювальними приладами за даними Департаменту житлово-комунальної інфраструктури Київської міської державної адміністрації представлено у табл. 2. Відповідно до облікових даних ПрАТ «АК «Київводоканал» на сьогодні індивідуальними вимірювальними водолічильниками обладнано, в м. Києві, 98,73% багатоквартирних будинків та 39,1% будинків у приватному секторі.

Верховною Радою України 22 червня 2017 р. прийнято Закон України № 4901 «Про комерційний облік теплової енергії та водопостачання». Документ передбачає обов'язкове оснащення лічильниками всіх будівель, приєднаних до зовнішніх теплових мереж, а також гарячого та холодного водопостачання. Відповідно до закону, такі лічильники мають бути встановлені операторами зовнішніх мереж до 1 жовтня 2018 року для житлових будинків. Крім того, згідно з прийнятим документом, для багатоквартирних будинків обов'язковим буде оснащення індивідуальними приладами обліку або приладами-розподільниками

показників споживання теплової енергії. В Державному агентстві з питань енергоефективності вважають, що введення 100% обліку споживання тепла і води населенням дозволить скоротити використання теплової енергії на 15-20%. Можливо саме цим пояснюється тенденція до зменшення водоспоживання населенням м. Києва, що спостерігається протягом 2012-2014 років (рис. 1).

Таблиця 1

Аварійний та старий житловий фонд м. Києва за даними Головного управління Державної служби статистики України станом на 2017 рік [1, 3]

Райони м. Києва	Кількість будинків		Загальна площа, м ²		Кількість мешканців	
	старих	аварійних	старих	аварійних	старих	аварійних
Голосіївський	46	2	11125	4642	43	178
Дарницький	6	-	313	-	-	-
Деснянський	3	-	84	-	-	-
Дніпровський	1	-	59	-	-	-
Оболонський	14	-	1621	-	14	-
Печерський	5	-	1932	-	64	-
Подільський	19	-	1490	-	-	-
Святошинський	31	-	3790	-	143	-
Солом'янський	29	1	2907	2650	36	58
Шевченківський	40	20	17856	6974	431	258
Загалом	194	23	41177	14266	1122	494

Таблиця 2

Обладнання житлового фонду м. Києва будинковими вимірювальними приладами за даними КМДА та рівень водоспоживання згідно облікових даних ПрАТ «АК «Київводоканал» у 2014-2017 роках

Роки	Рівень оснащення будинковими приладами обліку		Споживання води
	теплотічильниками	природного газу	
2014	36%	немає даних	166557000 м ³
2015	76%	0,57%	171125000 м ³
2016	92,5%	11,6%	162312000 м ³
2017	95,9%	18,4%	немає даних

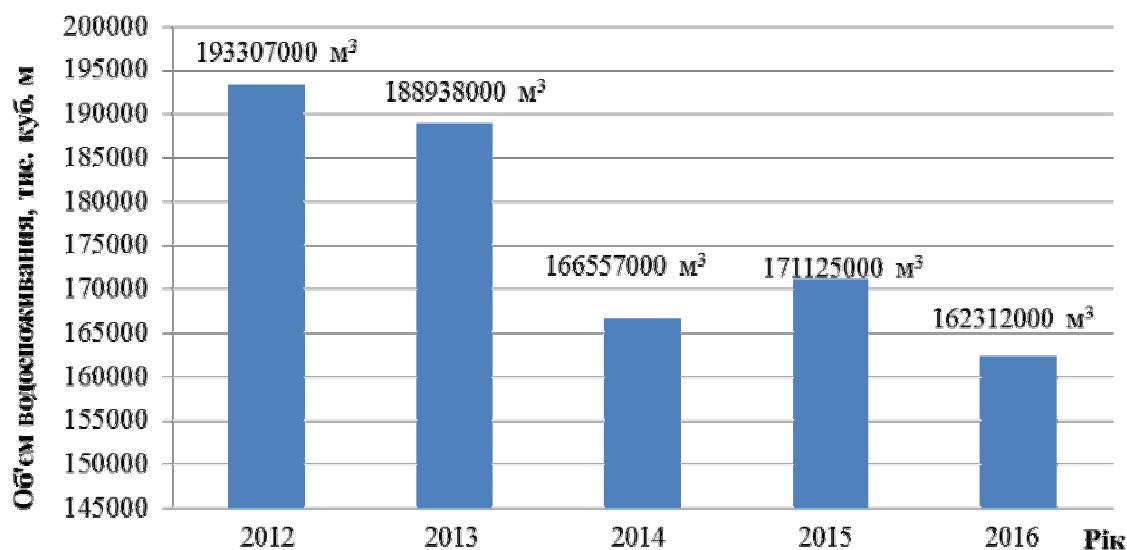


Рис. 1. Споживання води населенням м. Києва за 2012-2016 роки відповідно до облікових даних ПрАТ «АК «Київводоканал»

Проте більш вірогідною є кореляція з економічною кризою та соціальною нестабільністю, адже різкий спад споживання води припадає на 2014 рік. З іншого боку,

досвід розвинутих країн свідчить, що обладнання житлового фонду вимірювальними приладами є необхідним суттєвим кроком на шляху енергоефективності.

Отже, якщо необхідність та вигідність застосування принципів енергоефективності при реконструкції житлового фонду не викликає сумнівів, то з приводу методології практичного впровадження цього процесу викликає багато проблем та питань. Крім того, не сформована загальна концепція енергоефективної реконструкції житлового фонду в Україні, незважаючи на наявність значного підґрунтя в науковій літературі розвинутих країн, яке доцільно адаптувати до українських умов з урахуванням кращого вітчизняного досвіду.

Мета дослідження. Сформулювати загальну концепцію екоенергоефективної реконструкції житлового сектора з урахуванням необхідності підвищення рівня екологічної безпеки України.

Виклад основного матеріалу. З урахуванням витрат та рівня складності проведення реконструкції житлового фонду, виділено чотири основні рівні екоенергоефективного підходу: 1) усвідомлення проблеми, отримання та поширення необхідної інформації; 2) оптимізація енерговитрат; 3) екоенергоефективна реконструкція житла; 4) застосування інноваційних технологій. На рис. 2 ці рівні представлені у порядку зростання співвідношення витрати / ефективність.

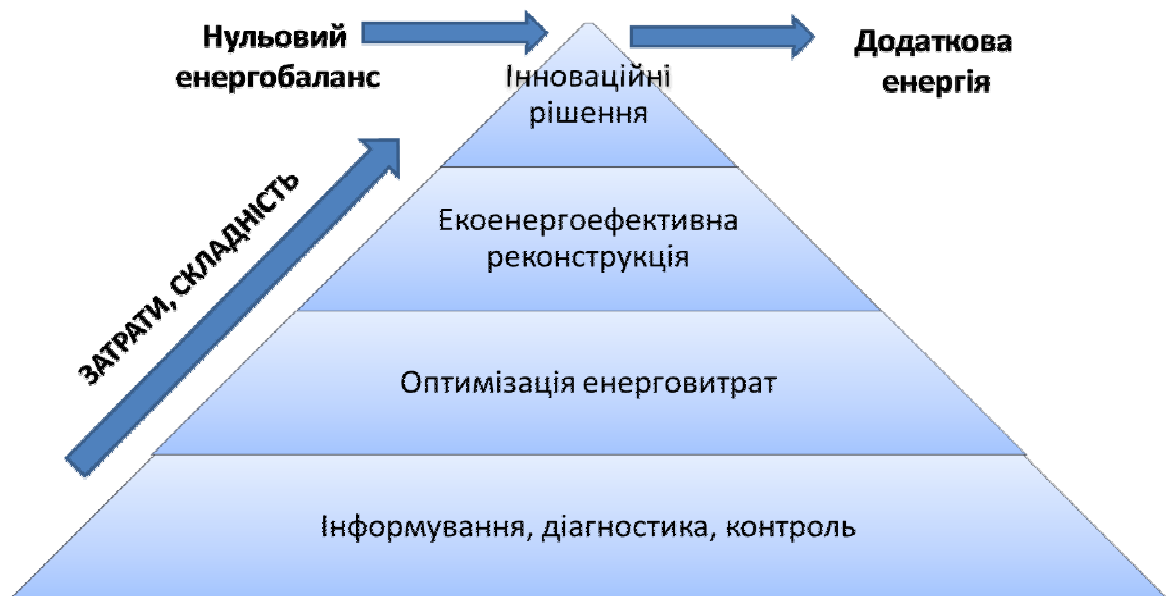


Рис. 2. Піраміда екоенергетичної ефективності витрат на реконструкцію житла

Перший рівень піраміди містить усвідомлення проблеми та інформування всіх зацікавлених осіб щодо необхідності екоенергетичного підходу до процесу реконструкції житла. За співвідношенням витрати / наслідки цей етап найбільш ефективний навіть при мінімальних коштах. Більше ресурсів потребує діагностика тепловитрат та встановлення контролюючих приладів, але це дозволяє перейти на наступний рівень – оптимізації енерговитрат. Зменшити витрати на енергоспоживання можливо без проведення кардинальної реконструкції. Лише розумним плануванням обігріву та освітлення помешкання можна зменшити витрати на 20–30%. Значно більше коштів потребує заміна електрообладнання, вікон та опалювальних систем, але ефект від цих заходів хоча і окупається довше, проте забезпечує стабільність. Утеплення будинку забезпечує до 50% економії, а заміна старих вікон на енергоефективні – 15%. Нормативними документами ДБН В.2.6-31:2006 та ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007 встановлено 6 класів енергетичної ефективності будинку [2, 6]. Це надає можливість уніфікації відповідних економічно обґрунтованих заходів із заощадження енергії в будинках, різних за періодом будівництва,

конструктивними та інженерними рішеннями, нормами проектування, умовами експлуатації, а також оцінки інвестиційної привабливості будівництва, реконструкції, капітального ремонту (термомодернізації) та експлуатації будинків. Реконструкція житла потребує зваженого підходу та ретельного планування з урахуванням фінансових витрат та розрахунків показників енергоефективності та екологічної безпеки на всіх етапах.

Незважаючи на бурхливий розвиток інновацій у сфері енергоефективності, використання нових технологій значно обмежене внаслідок їх високої вартості та складностей процесу експлуатації. Всі ці недоліки нівелюються при збільшенні масштабів виробництва та масовому застосуванні, тому вкрай важливо поширювати інноваційні екоенергоефективні технологічні досягнення серед верств населення з високим фінансовим статком, а також забезпечувати суттєву підтримку на державному рівні. Такий підхід сприяє підвищенню якості та зниженню вартості енергоефективних технологій, що дозволить у майбутньому широко використовувати прогресивні інновації всім громадянам, незалежно від їх статку. Екоенергоефективна реконструкція повного циклу дозволяє досягти нульового і навіть прибуткового енергетичного балансу будівель. Для покращення процесу реконструкції житла запропоновано концепцію 6Е, що акцентує увагу на енергоефективності, екобезпеці, економії, екології, ергономічності та естетиці процесу реконструкції житлових споруд (рис. 3).



Рис. 3. Основні вимоги до процесу реконструкції житлового фонду (концепція 6Е)

Енергоефективність. Загальновизнаним світовим лідером у галузі енергетики та екологічного дизайну є міжнародна рейтингова система сертифікації будівель LEED, що оцінює ефективність найважливіших показників, зокрема енергозбереження, водовикористання, зменшення викидів CO₂ та якість внутрішнього стану приміщень в контексті впливу будівель на людей та навколишнє середовище. В процесі оцінки враховуються вимоги цілої низки стандартів, які постійно вдосконалюються. Зокрема «Standard for the Design of High-Performance Green Buildings» регламентує норми для розміщення, проектування, будівництва та режиму функціонування будівель, збалансовуючи екологічну відповідальність, ефективне використання ресурсів, комфорт мешканців та навантаження на навколишнє середовище [12]. Для енергоефективної регуляції систем опалення, охолодження та кондиціонування використовуються стандарти American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) [11]. Енергоефективність будівельних матеріалів та побутових товарів оцінюється у відповідності до програми Energy Star - це показник енергетичної ефективності будівлі, в якому оцінка 50 означає середню ефективність будівлі [14]. Підтримуються будівельні проекти, де відводиться місце для розміщення систем відновлюваних джерел енергії та пов'язаної з ними інфраструктури. Такий підхід дозволяє виділити основні етапи та конкретизувати ключові складові, на які необхідно звернути увагу в процесі реконструкції будівель на засадах енергоефективності. Зокрема необхідно ретельно розраховувати енерговитрати та ступінь впливу на навколишнє середовище та людину на всіх етапах

життєвого циклу будівлі. Індикаторами успішного втілення будівельними компаніями екологічних принципів служать ефективність використання матеріалів та енергії, кілометраж пробігу транспортних засобів, кількість відходів та відсоток їх рециркуляції.

Екобезпека. Тісний та нерозривний зв'язок енергоефективності та екобезпеки обумовлений цілою низкою об'єктивних факторів та чинників. По-перше, енергоефективний підхід в процесі реконструкції забезпечує зниження негативного впливу на навколишнє середовище, який традиційно складає значний відсоток для будівельної галузі. По-друге, підвищення комфорту та мікрокліматичних умов внутрішніх приміщень, а також усунення небезпечних факторів позитивно впливає на здоров'я та якість життя мешканців будівель. По-третє, застосування методів еколого-економічної оцінки життєвого циклу матеріалів та конструкцій дозволить значно зменшити кількість відходів та негативного впливу на навколишнє середовище на етапах виробництва матеріалів, будівництва споруд та експлуатації житла. Особливого контролю підлягає кількість викидів CO₂ та забруднюючих речовин (NO_x, SO₂, CO, насичених вуглеводнів, Pb, Cs, Hg та ін.). Враховується частота виникнення аварій та ситуацій небезпечних для навколишнього середовища. Мінімізація операційних та екологічних ризиків в процесі будівництва, використання енергоефективних споруд дозволить зменшити залежність від імпортованих енергоносіїв та сприятиме підвищенню національної безпеки в цілому.

Екологія. Головними інструментами енергоефективної реконструкції житла служать раціональне використання енергії, води та інших ресурсів, досягнення параметрів фізичного та функціонального комфорту шляхом контролю температури, вологості, освітлення, акустичних навантажень та вентиляції. Висуваються регламентовані вимоги до організації будівельного майданчика, ретельно плануються приміщення та допоміжна інфраструктура. Реалізація енергоефективних проектів спрямована на підвищення якості будівель, їх внутрішнього середовища і прилеглої території. Оптимальний режим стану внутрішніх приміщень та контроль режиму температури і вологості перешкоджає розвитку шкідливих організмів, які можуть руйнувати будівельні конструкції та негативно впливати на здоров'я людей. Застосування для декору інтер'єру певних видів кімнатних рослин дозволяє природнім шляхом очистити повітря та знизити витрати на кондиціонування приміщень. Для зовнішнього озеленення навколо будівель рекомендовано використовувати місцеві рослини та уникати інвазивних. Щільні кущі можуть стати перспективною альтернативою стандартним парканам, оскільки вони не тільки огорожують територію, але й здатні поглинати шум, захищати від сонця та очищати повітря. Деревні породи та кущі з розгалуженою кореневою системою перешкоджають ерозії ґрунту, заощаджуючи кошти на укріплення схилів стандартними методами. На територіях навколо будинків слід заздалегідь передбачати спеціальні зони паркінгу для електромобілів та велосипедів, пристрої для використання енергії дощової води, що значно підвищує екорівень проекту реконструкції.

Економія. Слід відмітити економічний ефект внаслідок застосування принципів енергоефективності при реконструкції житла. Це не тільки пряма економія для населення, але й загальне покращення економічного стану країни. Поєднання екологічності та економічності процесу реконструкції досягається шляхом зниження рівня споживання енергетичних та матеріальних ресурсів протягом всього життєвого циклу будівлі, впливу споруд на оточуюче середовище та здоров'я користувачів. Оцінка життєвого циклу будівлі (life-cycle inventory) здійснюється у відповідності до стандартів ISO 14044 [15], де враховуються матеріали, використана енергія, повітряні викиди, використання водних та земельних ресурсів на кожному етапі реконструкції. Зокрема це видобуток і збір матеріалів та паливних джерел в природних умовах; обробка будівельних матеріалів та виробництво будівельних компонентів; транспортування матеріалів і компонентів; монтаж і будівництво; технічне обслуговування, ремонт та заміна протягом експлуатаційного терміну з використанням енергоспоживання; знесення, утилізація, рециркуляція та повторне використання споруди в кінці життєвого циклу. Незалежна

неприбуткова організація Green Seal визначає екологічно-економічну вигоду продуктів та товарів, рекомендуючи до вжитку найбільш оптимальні варіанти. Цілий ряд організацій, програм та стандартів, які допомагають безпосередньо кінцевим споживачам оцінити енергоефективність та екологічність будівельних матеріалів товарів та процесів. Для сертифікації компаній, які обробляють, виробляють та продають матеріали з деревини працює методика Chain of Custody, згідно якої відслідковується весь ланцюг поставок та враховується компонент «врятованого матеріалу» (вторинна переробка) в узгодженні з принципами, критеріями та стандартами ISO/IEC Guide 59 або WTO Technical Barriers to Trade [16]. Стандарти серії ISO 14021 оцінюють екологічні аспекти товарів, послуг та матеріалів вторинної переробки [13]. Тільки ретельні розрахунки допоможуть визначити оптимальний баланс та досягти високих показників в енергозбереженні та екологічній безпеці процесу реконструкції житлових приміщень. Показник фінансування житлової сфери є одним з головних індикаторів «здоров'я» економіки країни. Застосування принципів енергоефективності при реконструкції житла забезпечує не тільки пряму економію для населення, але й загальне покращення економічного стану країни.

Ергономічність. В процесі екоенергоефективної реконструкції велика увага приділяється зручному плануванню приміщень та допоміжної інфраструктури з урахуванням пристосованості та своєрідними особливостями користувачів будівлі. До головних умов раціональної ергономічної реконструкції відносять комфортність та утилітарність взаємодії специфічних компонентів системи «людина та середовище її мешкання». Сучасний темп життя залишає обмаль вільного часу, тому люди надають перевагу зручним і водночас максимально ефективним побутовим умовам та їх технічному оснащенню. Рівень задоволеності та комфорту проживання прямо пропорційно залежить від простоти експлуатації житла та часу, який витрачається на побутові турботи. До того ж ергономічне планування систем опалення, освітлення та комунікацій дозволяє знизити експлуатаційні витрати.

Естетика. Приваблива естетика екоенергоефективного будівництва здатна покращити соціальний та емоційний стан населення України, приверне увагу до проблем забруднення довкілля та наочно продемонструє шляхи їх вирішення, а також сприятиме покращенню іміджу України.

Адаптація міжнародних стандартів для впровадження принципів енергоефективності в процесі реконструкції житлового фонду України та застосування методів екологоекономічної оцінки життєвого циклу матеріалів та конструкцій дозволить значно зменшити кількість відходів на етапах виробництва матеріалів, будівництва споруд та експлуатації житла. Енергоефективний підхід в процесі реконструкції забезпечує зниження негативного впливу на навколишнє середовище, який традиційно складає значний відсоток для будівельної галузі. Підвищення комфорту та мікрокліматичних умов внутрішніх приміщень, а також усунення небезпечних факторів позитивно впливає на здоров'я та якість життя мешканців будівель. Таким чином, впровадження принципів енергоефективності в процесі реконструкції житлового фонду України є невід'ємною складовою екологічної та національної безпеки нашої країни. Використання енергоефективних споруд дозволить зменшити залежність від імпортованих енергоносіїв та сприятиме підвищенню національної безпеки в цілому.

Висновки. В результаті дослідження перспектив реконструкції житлового фонду м. Києва зроблені наступні висновки:

1 Виділено чотири основні рівні проведення реконструкції житлового фонду з урахуванням зростання співвідношення витрати / ефективність: 1) усвідомлення проблеми, отримання та поширення необхідної інформації; 2) оптимізація енерговитрат; 3) екоенергоефективна реконструкція житла; 4) застосування інноваційних технологій.

2 Встановлено, що впровадження принципів енергоефективності в процес реконструкції житлового фонду є невід'ємною складовою екологічної безпеки, оскільки

це сприяє зниженню негативного впливу на навколишнє середовище та людину, а також дозволяє значно зменшити кількість відходів будівельної галузі.

3 Запропоновано концепцію 6Е, що акцентує увагу на енергоефективності, екобезпеці, економії, екології, ергономічності та естетиці процесу реконструкції житлових споруд.

4 Дотримання основних вимог екоенергоефективності в процесі реконструкції житла забезпечить комфорт жителям та дозволить підвищити рівень екологічної безпеки та національної безпеки України.

Література

1 Будівництво житла та об'єктів соціальної сфери у м. Києві у 2012–2016 роках. Статистичний збірник Державної служби статистики України / ред. Настоящий О.І. – 2016. – К.: Головне управління статистики у м. Києві. – 48 с.

2 Державні будівельні норми України. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. ДБН В.2.6-31:2006. - 2006. - Київ : Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України. - 73 с.

3 Житловий фонд м. Києва у 2016 році. Статистичний бюлетень Державної служби статистики України / ред. Настоящий О.І. – 2016. – К.: Головне управління статистики у м. Києві. – 17 с.

4 Климчук М.М. Управління фінансуванням енергозбереження на будівельних підприємствах: міжнародний досвід // Бізнесінформ. – 2016. – № 2. – С. 65–70.

5 Комеліна О.В., Щербініна С.А. Фінансування заходів з підвищення енергоефективності житлового будівництва на рівні регіону // Бізнесінформ. – 2014. – № 12. – С. 96–102.

6 Національний стандарт України. Проектування. Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції. ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007. - 2008. – Київ : Мінрегіонбуд України - 43 с.

7 Орловська Ю.В. Енергоефективність житлового будівництва як резерв зростання його економічного потенціалу // Економіка будівництва і міського господарства. – 2014. – Т. 10, № 1. – С. 5–11.

8 Рішення Київської міської ради № 780/1784 «Про затвердження Положення про співфінансування реконструкції, реставрації, проведення капітальних ремонтів, технічного переоснащення спільного майна у багатоквартирних будинках м. Києва» від 26.12.2016 р.

9 Рішення Київської міської ради №565/565 «Про затвердження Положення про стимулювання впровадження енергоефективних заходів у багатоквартирних будинках шляхом відшкодування частини кредитів» від 07.07.2016 р.

10 Рішення Київської міської ради №865/865 «Про затвердження Положення про конкурс проектів з реалізації енергоефективних заходів у житлових будинках міста Києва, в яких створені об'єднання співвласників багатоквартирних будинків, а також у кооперативних будинках» від 26.12.2014 р.

11 ANSI/ASHRAE Standard 55-2013. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. – 2013. – Atlanta : ASHRAE. - 58 p.

12 ANSI/ASHRAE/USGBC/IES Standard 189.1-2011: Standard for the Design of High-Performance Green Buildings Except Low-Rise Residential Buildings (ASHRAE 189.1).

13 ASQ/ISO 14021-2001 Environmental labels and declarations - Self-declared environmental claims (Type 2 Environmental labeling). – STANDARD by American Society for Quality/International Org. for Standardization. – 2001. - 32 p.

14 Energy Star Program. USA Environmental Protection Agency (EPA) and Department of Energy (DOE) – Режим доступу [www.energystar.gov].

15 ISO 14040-14044: Environmental management – Life cycle assessment. - 2006. – Geneva: Principles and framework, International Organisation for Standardisation (ISO).

16 Technical Barriers to Trade WTO Agreements Series. – 2014. – Geneva : World Trade Organization - 152 p.

© Т. І. Кривомаз,
Д. В. Варавін

Надійшла до редакції 16 листопада 2017 р.
Рекомендувала до друку
докт. техн. наук О. С. Волошкіна

*Кундельська Т.В.
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

ОГЛЯД МЕТОДИК ОЦІНКИ ВІЗУАЛЬНИХ ВПЛИВІВ В МЕЖАХ УРБОСИСТЕМИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ПРОВЕДЕННЯ ТАКОЇ ОЦІНКИ НА ТЕРИТОРІЇ М. ІВАНО-ФРАНКІВСЬКА

У статті наведений огляд методичних підходів до проведення оцінки візуальних впливів, які використовуються вітчизняними та закордонними науковцями. Основна увага зосереджена на необхідності такої оцінки у передпроектній документації в межах процедури оцінки впливу на довкілля. Виділені основні етапи оцінки візуальних впливів в межах урбосистеми Івано-Франківська, на основі запропонованої автором методики, враховуючи метод експертної оцінки.

Ключові слова: візуальні впливи, урбосистема, візуальне забруднення, метод експертної оцінки, оцінка впливів на довкілля

The article gives an overview of methodological approaches to the assessment of visual influences used by national and foreign scientists. The main focus is on the need for such an assessment in preproject documentation within the environmental impact assessment procedure. The main stages of evaluation of visual influences within the Urbosystem of Ivano-Frankivsk are determined, on the basis of the method proposed by the author, taking into account the expert estimation method.

Key words: visual influences, urbosystem, visual pollution, expert estimation method, environmental impact assessment

Постановка проблеми в загальному вигляді. Впливи на навколишнє середовище, в умовах сучасного міста, оцінюються не лише за кількістю викинутих забруднюючих речовин в атмосферне повітря чи водне середовище, акустичного чи електромагнітного навантаження, радіаційного забруднення, необхідно звернути увагу на оцінку впливів внаслідок візуального забруднення [1]. Значне погіршення візуального середовища супроводжує людину в умовах великих та середніх урбосистем, якість навколишнього середовища настільки відірвана від природної, що середньостатистичний мешканець міста змушений постійно змінювати умови проживання або пристосовуватись до них.

Негативні зміни у навколишньому візуальному середовищі сформувались під час промислової революції у Європі, а глобального масштабу вони набули за останню половину XX століття за рахунок процесів урбанізації. На теренах України, за радянського часу, революційні зміни у містобудівельній галузі, призвели до формування міст та мікрорайонів-клонів, які мають однаковий вигляд, незважаючи на те, велике місто, середнє чи мале (згідно класифікації за кількістю мешканців). В таких умовах, форсувались будівельні роботи у містах з однаковим плануванням, за ідеологічного переконання «кожному мешканцю – окрема квартира», а непродумані архітектурні рішення відкидали будь-яку естетику та наближеність до природного, як буржуазну надмірність.

Проблема одноманітного візуального середовища міст виникла не лише на теренах колишнього Радянського Союзу, але і в країнах колишнього соцтабору, у США, країнах Азії та Південної Америки. В багатьох американських містах вже зараз ставлять питання про знесення кварталів з однаковими будівлями та впровадження в проектних рішеннях естетичних деталей, що формують сприятливе візуальне середовище.

Тобто, певні проектні втручання в навколишнє середовище, які кардинально змінюють візуальне середовище та сприймається зоровим апаратом людини, як агресивне, штучне, техногенне, можемо трактувати, як «візуальне забруднення». В контексті

наведеного, візуальне забруднення (візуальні впливи) – це забруднення навколишнього видимого середовища гомогенними та агресивними полями, об'єктами, які спотворюють природне сприйняття навколишнього середовища (графіті на будинках, базові станції стільникового зв'язку, хаотичне та великомасштабне накопичення ліній електромереж чи зв'язку, сміття, зменшення та іноді відсутність зелених насаджень, хаотична багатоповерхова забудова, відсутність відкритих просторів, тощо).

Такий аспект впливу практично не враховується в системі екологічної оцінки на теренах нашої країни. Загалом, у вітчизняній нормативно-правовій базі відсутні вимоги до такої оцінки, але вона є обов'язковою в передпроектній документації для країн Європи, Америки та Азії. Для прикладу федеральні та державні законодавчі акти США визначають конкретні річки, шосейні дороги вздовж природних краєвидів або естетичних будівель в межах урбанізованих територій, як «мальовничі», таким чином, убезпечуючи від будь-яких втручань, що можуть погіршити візуальну якість навколишнього середовища.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Професором Філіним В. А. у 1989 році започатковано новий напрямок в екології – «відеоекологія». На думку вченого [2], це наука про взаємодію людини з навколишнім візуальним середовищем.

Вітчизняною наукою накопичений достатній теоретико-методологічний та методичний досвід оцінки естетичних переваг природних ландшафтів, зокрема це праці географів Горба К. Н. [3], Бучко Ж. І. [4], Гродзинського М. Д. та Савицької О. В. [5], російських науковців Фролової М. Ю. [6], Ніколаєва В. А. [7], литовців Ерингіса К. І. та Будрюнаса Р. А. [8]. Варто зазначити, що остання методика є основоположною щодо оцінки еколого-естетичних ознак ландшафтів, багато науковців послуговуються саме нею, вдосконалюючи певні критерії. Серед іноземних публікацій, що висвітлюють дану проблематику, можемо згадати праці Bourassa S. C. [9] Wöbse H. H. [10].

Так як об'єктом наших досліджень є територія урбосистеми, то хотілось би зосередити свою увагу на працях, які висвітлюють такі дослідження в межах міських агломерацій. Зокрема, це праці Некос А. Н. [11] та Мірошніченко В. В. [12], які відображають дослідження урбосистеми міста Харкова; Романчука С. П. [13] присвячені дослідженням міста Києва; Зеленської Л. І. [14] дослідження міста Дніпропетровська, Боднарчук О. та Петрука В. [15] дослідження міста Вінниці. Відомо ряд досліджень, що розгортають вирішення проблеми у містобудівельній та, навіть, у філософській площині.

Мета дослідження. Огляд методик, за допомогою яких можна провести оцінку візуальних впливів на території урбосистеми, було метою наукового дослідження. Основна увага була зосереджена на оцінці візуального забруднення, як одного з видів техногенного навантаження при оцінці впливів на довкілля.

Одним із завдань дослідження було провести зонування території міста Івано-Франківська, за критеріями домінуючих візуальних впливів, які притаманні певній ділянці урбосистеми.

Також метою роботи було запропонувати власну узагальнену методику до оцінки візуального забруднення території урбосистеми Івано-Франківська. В процесі дослідження необхідно було виділити зони, що відчувають найбільший дискомфорт за критеріями візуального впливу на населення, та встановити сприятливі зони для комфортного проживання в межах урбосистеми.

Виклад основного матеріалу дослідження В сучасних умовах життя людини, спостерігається значне погіршення якості візуального середовища, що є однією з важливих компонент життєдіяльності. Візуально забрудненими є великі та середні міста, виробничі умови, транспорт, житлові споруди, магістральні дорожні розв'язки та т.п.

Візуальне середовище, на думку Філіна В. А. [2], – це все те, що сприймає орган зору людини, все те що ми бачимо навколо. Відповідно, агресивне візуальне середовище – це видима частина навколишнього середовища, що складається з великої кількості однакових, рівномірно розподілених елементів, що сприймає зір. Агресивними для сприйняття буде велика кількість однакових вікон багатоповерхівок, так як таке

середовище ускладнює формування зорового образу в цілому через одноманітність інформації, що надходить як від лівого, так і від правого ока. Зазначені фактори візуального середовища, можемо також назвати гомогенними, одноманітними, так як вони не мають домінантного, приємного для сприйняття об'єкту, на якому можна зафіксувати погляд, це призводить до відчуття дискомфорту та порушення фізіологічних норм зору, цілісності рухомого апарату біокулярного зору.

До негативних факторів, які змінюють навколишнє видиме середовище належить нова освітлювальна техніка, зокрема лампи денного світла, імпульсні джерела освітлення, лазерні шоу, відблиски рухомої відеореклами і т.п.

Зменшення площ відкритих просторів – парків, озер, берегів річок, озелених схилів, гаїв, садів в генеральному плануванні міст також призводить до ускладнення навколишнього візуального середовища.

На думку В. А. Філіна [2], гомогенні агресивні поля та візуальне забруднення призводять до:

1. Збільшення кількості захворювань на короткозорість. В умовах міста, вона зустрічається в 2 рази частіше, ніж у сільській місцевості. Аргументом є той факт, що «сільське» візуальне середовище, більше наближене до природного, ніж середовище урбосистеми.

2. За даними ВООЗ, випадки психічних захворювань мають тенденцію до зростання саме через збільшення процесів урбанізації. Виділяють окремий патологічний стан «синдром великого міста», що виявляється у агресивній поведінці та пригніченому депресивному настрої, одним з чинників, що його формує вважають одноманітне візуальне середовище.

3. В агресивному візуальному середовищі, людина частіше відчуває безпідставний страх та тривожність, перебуває у стані безпідставного озлоблення.

Комфортне візуальне середовище, на противагу до попереднього, буде сприятливим для здоров'я людини, її працездатності, психологічного стану.

Якщо інші види забруднення навколишнього середовища, ми можемо виміряти за об'єктивними стандартами (ГДК, ГДР і т.д), то складність оцінки візуального забруднення (visual pollution) полягає у суб'єктивності підходу, адже те, що одним експертам видається допустимим, для інших, в силу їх естетичних цінностей, є неприпустимим.

Як зазначалось вище, в Україні відсутні нормативно-правові акти, які регламентують процедуру проведення оцінки візуального забруднення. На відміну від вітчизняних вимог в країнах Європи та Америки така процедура є обов'язковою. Для прикладу, одним з перших законодавчих актів США, щодо оцінки шкоди від візуального забруднення був [16], який регламентував оцінку впливу на візуальну якість довкілля від білбордів та рекламних щитів.

У 2013 році Копенгагенським університетом було проведено ґрунтовне дослідження з «Оцінки впливу від шуму та візуального забруднення, яке створюється вітровими турбінами на жителів Данії» [17]. В основу методики оцінки було покладені такі критерії, які створюють негативні візуальні ефекти: ймовірне візуальне забруднення, що буде створювати вітрова турбіна, внаслідок зміни природного ландшафту, ефект мерехтіння та відблисків, мерехтлива тінь для населення, що мешкає в будинках розташованих поблизу. Внаслідок досліджень встановлено, що 33% будинків (відповідно населення, що в них мешкає), будуть зазнавати негативних візуальних впливів.

Цікавими є ґрунтовне дослідження Джона Нейгла [18], щодо оцінки візуального забруднення від встановлення антен базових станцій стільникового зв'язку та ліній електропередачі. В даному випадку, оцінка проводилась за рішенням судових експертів в грошовому еквіваленті, та вирішувалось чи достатня сума компенсації за встановлення техногенного об'єкту відповідно до шкоди, яка нанесена особам внаслідок «естетичних збитків».

Райони з високою житловою чи промисловою забудовою, зазвичай, не розглядають як об'єкти з посиленням візуальним забруднення від антен стільникового зв'язку, адже на фоні багатоповерхівок вони практично не потрапляють в поле зору мешканців, за винятком тих випадків, коли житель міста також мешкає на верхніх поверхах житлового будинку та змушений постійно спостерігати техногенні об'єкти на будівлях, що розташовані навпроти.

Найбільший візуальний вплив від базових станцій оцінюють в межах невисокої та одноповерхової забудови, в історико-культурній частині міст, на фоні природних об'єктів – парків, річок, лісів, скверів і т.п.

У [18] також наведені дані щодо застосування камуфляжних рішень для зменшення візуального впливу БСМ на навколишнє середовище шляхом фарбування у нейтральні кольори, або використання текстури та матеріалів, які вписуються у навколишній природний ландшафт. Часто провайдери відмовляються від таких дій, в зв'язку з тим що це економічно не вигідно, а витрачені кошти абсолютно «не обіцяють» 100% мінімізації впливу. Тим не менше провайдер, що має намір побудувати вежу стільникового зв'язку на житловому будинку, в першу чергу подає аналіз візуальних впливів, що прогножуються

Як зазначалось вище більшість вітчизняних та закордонних [3–5, 6–10], науково обґрунтованих, підходів щодо оцінки візуальних впливів мають суто географічне, ландшафтне спрямування, і можуть бути застосовані в умовах урбосистеми лише на відкритих просторах, де територія не перекрита міською забудовою. Тому, нами запропонована до обговорення методика оцінки візуального забруднення, яка допоможе провести оцінку на передпроектній стадії процедури оцінки впливу на довкілля в межах міської агломерації.

Згідно такого підходу, на першому етапі дослідження, територія міста була прозорована за критеріями домінуючих візуальних об'єктів, в незалежності природного чи антропогенного походження вони є. Домінуючими об'єктами визначено: історико-культурні об'єкти старого міста, зелені зони та рекреаційні території в межах парків або вздовж річок Бистриця Солотвинська, Бистриця Надвірнянська, наявність залізничних та автомобільних мостів, багатоповерхова забудова, велика мереж супермаркетів, великі промислові підприємства, дачні та одноповерхова забудова в межах центральної частини міста, наявність великого скупчення техногенних об'єктів по типу базових станцій стільникового зв'язку, ліній електропередач, смітників, перенасичення автомобільним транспортом та т.і. Нами виділено 24 зони в межах урбосистеми міста Івано-Франківська (рис.1).

До зон із домінуючими природними об'єктами були віднесені зони 3, 4, 14, 9, 12 – це територія берегів річок Бистриць Солотвинської та Надвірнянської, парку ім. Т. Шевченка, міського озера, набережної ім. В. Стефаніка. Окремо були виділені зони 1, 6, 13, 20 – територія із багатоповерховою одноманітною забудовою (так звані «спальні райони» Каскаду, Пасічної, БАМу). Промислові зони – 7а, 7б, 7в, 7г, 7д, 7е, а також техногенно ускладнені райони залізничного депо та вокзалу -21, цивільного та військового аеропорту – 22 та інші. Після цього було проведене фотографування територій з висоти не більше 2 м, для того щоб встановити кут огляду середньостатистичного жителя міста та встановлення ймовірного візуального впливу.

На початковому етапі досліджень, нами була проведена оцінка електромагнітного забруднення міста Івано-Франківська [19], ускладнена впливом базових станцій стільникового зв'язку, видимі технічні об'єкти мережі (БС) були обліковані. На основі цього була створена база даних БС, що розташовані в межах урбосистеми міста.

Далі, на меті дослідження, було встановити зв'язок між підвищеним електромагнітним полем та візуальним забрудненням території в межах урбосистеми, якщо домінантним об'єктом обрати БС стільникового зв'язку та радіотехнічні передавачі ефірного мовлення.

Встановлено, що житлові та промислові райони Івано-Франківська, де розташована велика кількість БС та, які мають підвищений рівень електромагнітного поля, відповідно

мають вищий бал візуального навантаження, порівняно із територіями, де такі техногенні об'єкти відсутні.



Рис. 1. Зонування території урбосистеми Івано-Франківська за критеріями візуального навантаження та домінантних об'єктів

Наступним етапом, було проведення бальної оцінки візуального навантаження за групами критеріїв – природні об'єкти, антропогенні та техногенні об'єкти, фізіономічні характеристики. Бальні оцінки варіюють в межах 2 балів, для уникнення великого розходження в оцінці та похибки об'єктивності. Саме для об'єктивності підходу було запропоновано використати методику експертної оцінки, яка широко використовується у проектній документації США, зокрема в процедурі Environmental Impact Assessment. Кожен з експертів виставляє свою оцінку в балах за кожним з критеріїв наведених у шкалі оцінки візуального навантаження, для кожної із виділених зон. Результатом є матриця балів, яку математично опрацьовують для встановлення значимості критерію візуального впливу та визначення найбільш прийнятної для проживання зони в межах урбосистеми.

Висновки. Нами запропонована до обговорення методика оцінки візуальних впливів для території урбосистеми (на прикладі Івано-Франківська), яка має прогнозний характер. В основу методики покладена експертна оцінка природних та техногенних об'єктів, в межах урбосистеми. За результатами експертної оцінки візуальних впливів планується створення карти візуального забруднення міста Івано-Франківська.

Використовуючи такий підхід ми можемо спрогнозувати ймовірне візуальне забруднення (візуальні впливи) при здійсненні певної господарської діяльності (враховуючи нове будівництво, реконструкцію чи переобладнання), ще на стадії проектної документації.

Література

- 1 Кундельська Т.В. Оцінка впливу електромагнітного та візуального забруднення на населення урбосистеми міста Івано-Франківська / Т.В.Кундельська // Збірник матеріалів XV Міжнародної науково-технічної конференції, - Кременчук, Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського, 2017. – С. 95
- 2 Филин В.А. Что для глаза – хорошо, а что – плохо./ В.А.Филин. – М. : МЦ «Видеоэкология». 2001. – 312 с.
- 3 Горб К.Н. Концепция и общие методические принципы создания охраняемых природных территорий в зависимости от эстетической ценности природных ландшафтов (под. ред. В.Е.Борейко)/ Киевский эколого-культурный центр, Киев, 2000 – с.54
- 4 Бучко Ж.І. Естетичні якості ландшафтів у контексті використання та збереження гуманістичного потенціалу регіону: автореф. дис.. на здобуття наук. ступеня кандидата географ. Наук: спец. – 11.00.01 – фізична географія, геофізика і геохімія ландшафтів/Ж.І.Бучко. – Чернівці, 2002 – 20 с.
- 5 Гродзинський М.Д. Естетика ландшафту: Навч. Посібник / М. Д. Гродзинський, О. В. Савицька ВПЦ “Київський університет”, 2005. – 183 с.
- 6 Фролова М.Ю. Оценка эстетических достоинств природных ландшафтов /М.Ю.Фролова/ Вестник Московского университета. – Серия 5. География, 1994 г. №2 – с.27-33.
- 7 Николаев . Ландшафтоведение: Эстетика и дизайн : учеб. пособие / В. А. Николаев. – М. : Аспект Пресс, 2003. – 176 с.
- 8 Эрингис К.И. Сущность и методика детального эколого-эстетического исследования пейзажей /К.И.Эрингис, А.-Р.А.Будрюнас// Экология и эстетика ландшафта. – Вильнюс: Минтис, 1975 – С.107-170
- 9 Bourassa S.C. The Aesthetics of Landscape / S.C. Bourassa. – London and NY : Belhaven. Press, 1991.- 156 p.
- 10 Wöbse Н.Н. Landschaftsaesthetik: Über das Wesen, die Bedeutung und den Umgang mit landschaftlicher Schönheit / Н.Н. Wöbse - Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag, 2002.- 304 s.
- 11 Некос А. Н. Естетика урбогеосистем (огляд досліджень) / А. Н. Некос, В. В. Мірошніченко // Вісник Одеського національного університету. Серія : Географічні та геологічні науки. - 2013. - Т. 18, Вип. 2. - С. 118-126. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vopn_geo_2013_18_2_15
- 12 Мірошніченко В.В. Комфортність навколишнього середовища урбогеосистем міста Харкова (відеоєкологічний аспект) / В.В. Мірошніченко // Людина та довкілля. Проблеми неоекології. № 1-2, 2012. – с.92-99
- 13 Романчук С.П. Досвід оцінки ландшафтів Києва для збереження та оптимізації середовища/ С.П.Романчук, О.В.Савицька // Фіз. географія і геоморфологія. – 2008. – Вип. 54. – С. 209-226.
- 14 Зеленська Л.І. Картографічна оцінка привабливості міських ландшафтів (на прикладі м. Дніпропетровськ) / Л. І. Зеленська, Ю. В. Цурікова // Проблеми безперервної географічної освіти і картографії. - 2009. - Вип. 10. - С. 85-90. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pbgo_2009_10_19
- 15 Bondarchuk O. Ecological safety of visual environmental and videoecological perception (VEP) of Vinnitsia/ O. Bondarchuk, V.Petruk/ Environmental problems/ Volume 1, number 1, 2016. – p.35-39
- 16 Visual Pollution Control Act of 1990, S. 2500, 101st Cong.
- 17 The Vindication of Don Quijote: The impact of noise and visual pollution from wind turbines on local residents in Denmark, 2013, Denmark, Department of Food and Resource Economics, University of Copenhagen Електронний ресурс – Режим доступу: URL: http://okonomi.foi.dk/workingpapers/WPpdf/WP2013/IFRO_WP_2013_13.pdf
- 18 John C. Nagle, Cell Phone Towers as Visual Pollution, 23 Notre Dame J.L. Ethics & Pub. Pol'y 537 (2009). Електронний ресурс – Режим доступу: <http://scholarship.law.nd.edu/ndjlepp/vol23/iss2/7>
- 19 Кундельська Т.В. Дослідження електромагнітного забруднення, ускладненого впливом базових станцій стільникового зв'язку, на урбанізованій території міста Івано-Франківська/ Т.В.Кундельська, М.Т. Микицей // Збірник наукових праць «Екологічна безпека та природокористування» Київського національного університету будівництва та архітектури, м.Київ, червень 1-2 (23), 2017 р. С.20-27.

© Т. В. Кундельська

*Надійшла до редакції 01 грудня 2017 р.
Рекомендував до друку
докт. техн. наук Я. О. Адаменко*

ІНЖЕНЕРІЯ СЕРЕДОВИЩА ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

УДК 331.45:331.46-044.68

*А. П. Бочковський¹,
Н. Ю. Сапожнікова²*

*¹Одеській національний
політехнічний університет,*

*²Одеська національна академія
харчових технологій*

НАУКОВО-ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ МІНІМІЗАЦІЇ РИЗИКІВ ВИНИКНЕННЯ ПРОФЕСІЙНИХ НЕБЕЗПЕК

В статті, на основі проведеного аналізу статистичних даних щодо причин виникнення нещасних випадків, визначено доцільність застосування на підприємствах сучасних автоматизованих систем безпеки для досягнення та підтримки прийнятних значень рівня ризику виникнення професійних небезпек. Встановлено, що відомі сучасні автоматизовані системи, що спрямовані на підвищення рівня охорони праці на виробництвах, мають ряд недоліків. З метою їх усунення, авторами, запропоновано власну систему, яка дозволяє мінімізувати ризики виникнення професійних небезпек, за рахунок постійного контролю за небезпечними зонами та рухом внутрішньощехового транспорту.

Ключові слова: охорона праці, промислова безпека, технічні системи, небезпека, «людський фактор», виробничий травматизм, професійні захворювання, автоматизовані системи.

In the article, based on the analysis of statistical data pertaining to the reasons of accidents contraction, were defined the feasibility of using the modern automated security systems at enterprises for achievement and maintaining the acceptable indices of the level of risk of occupational dangers.

It was established that well-known modern automated systems aimed at increasing the level of occupational safety at enterprise had a huge number of disadvantages. In order to eliminate them, the authors proposed his own system, which allows to minimize the priority risks of occupational dangers contraction, due to constant monitoring by technical means of danger zones and shop-floor travelers.

Keywords: occupational safety, industrial safety, technical systems, danger, "human factor", industrial injuries, occupational diseases, automated systems.

Постановка проблеми. Основною метою створення і функціонування системи управління охороною праці на підприємствах та в організаціях є усунення, а за неможливості, мінімізація ризиків виникнення професійних небезпек. В даному контексті під терміном професійна небезпека слід розуміти небезпеку, яка може призвести до травм, хвороби чи смерті працівника в процесі його професійної діяльності [1]. Ризик виникнення професійної небезпеки в такому випадку, це комбінація ймовірності виникнення такої небезпеки та її тяжкості. Кількісні показники ризику виникнення потенційних професійних небезпек свідчать про стан охорони праці та промислової безпеки на підприємстві (організації, установі).

В діючій нормативно-правовій документації зустрічається три основних терміни, які використовують для аналізу стану охорони праці та промислової безпеки на підприємствах. Це нещасний випадок на виробництві, виробничий травматизм та

професійні захворювання. Згідно [1], нещасний випадок на виробництві - обмежена в часі подія чи раптовий вплив на працівника небезпечного виробничого чинника, що сталися під час виконання ним трудових обов'язків, унаслідок чого завдано шкоди здоров'ю чи трапилася смерть. Виробничий травматизм - явище, що характеризується сукупністю виробничих травм і нещасних випадків на виробництві. Професійне захворювання - патологічний стан людини, зумовлений професійною діяльністю працівника та пов'язаний винятково чи переважно з впливом шкідливих виробничих чинників.

Іншими словами, нещасний випадок на виробництві – це подія в результаті, якої людина може отримати певну виробничу травму або декілька травм, в тому числі і зі смертельним наслідком. А виробничий травматизм – це термін, який використовується для оцінки стану охорони праці.

Таким чином, виробнича травма є наслідком нещасного випадку на виробництві і для мінімізації виробничого травматизму, як явища, слід усувати (мінімізувати) ризики, що пов'язані з причинами виникнення нещасних випадків.

Отже, керування ризиками виникнення професійних небезпек в першу чергу повинно знаходитись у площині ідентифікації, оцінки, ранжування та розробки заходів і засобів безпеки, щодо причин виникнення нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналізу причин виникнення нещасних випадків, встановленню взаємозв'язків між факторами що чинять вплив на безпеку праці, рекомендаціями щодо мінімізації ризику виникнення професійних небезпек присвячено багато досліджень, останніми з яких є [3–6]. Однак, основним недоліком зазначених робіт є недостатня системність у підході виявлення взаємозв'язків між причинами виникнення нещасних випадків і професійними небезпеками, з наступною розробкою практичних заходів та засобів, які дозволять мінімізувати або усунути такі причини.

Мета статті. Розробити систему практичних заходів і засобів мінімізації ризиків виникнення професійних небезпек на підприємствах.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Проаналізувати причини виникнення професійних небезпек в Україні.
2. Провести порівняльний аналіз відомих систем забезпечення професійної безпеки.
3. Формалізувати систему автоматизованого захисту небезпечних зон виробництва та безпеки руху внутрішньоцехового транспорту.

Виклад основного матеріалу. Існуюча статистика розглядає три основні групи причин виникнення нещасних випадків [7, 8]:

- організаційні;
- технічні;
- психофізіологічні.

Однак, для професійних захворювань такого структурного розподілу по причинах не існує. Статистика нам дає лише кількісні дані щодо видів професійних захворювань, які інколи, через неочевидність діагнозу і значну кількість факторів, що сприяють їх появі, не можуть слугувати відправною точкою для розробки захисних заходів. Є очевидним, що професійні захворювання виникають через несприятливі умови праці на підприємстві, які, в свою чергу, слід розглядати також в розрізі тих же організаційних, технічних та психофізіологічних причин.

Згідно зі статистичними даними, за період з 2007 р. по 2016 р. Динаміка розподілу нещасних випадків за причинними ознаками відносно з індексом промислового виробництва мала наступний вигляд (рис. 1).

На першому місці серед причин виникнення нещасних випадків, впродовж дослідного періоду були організаційні, частка яких в середньому складала 72%. Друге місце у період з 2007–2011 рр. займали технічні причини (14%), а з 2012–2016 рр., вже

психофізіологічні, з середньою часткою 22%. Більш детальний розподіл причин нещасних випадків за структурою з 2007 по 2016 роки, наведено у табл. 1.

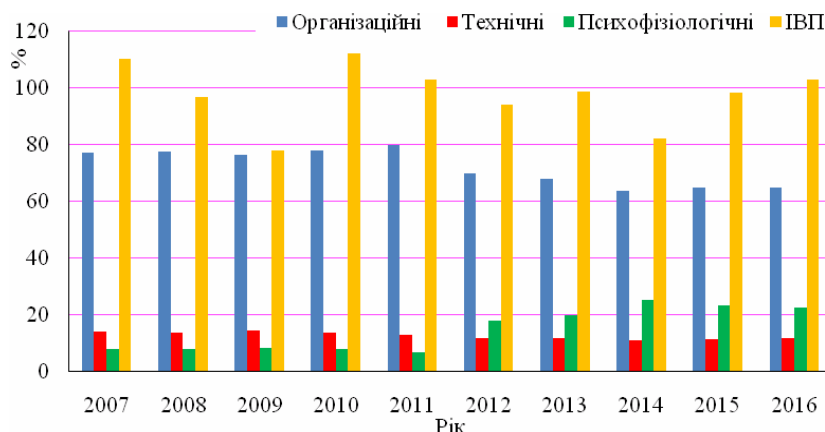


Рис. 1. Динаміка зміни причин нещасних випадків та індексу виробництва продукції (ІВП) в Україні по роках [7]

Для аналізу і з'ясування закономірностей між причинами виникнення нещасних випадків на виробництві, професійних захворювань, смертельних випадків, що пов'язані з виробництвом, та їх наслідками (кількість нещасних, смертельних випадків, профзахворювань), застосовано методи статистичного аналізу, а саме – кореляційний аналіз [11].

Проведений кореляційний аналіз показав, що існують дуже сильні кореляційні зв'язки між:

- загальним відсотком організаційних причин та загальним відсотком психофізіологічних причин ($r=-0,99$);
- кількістю зареєстрованих смертельних випадків та відсотком порушення технологічного процесу ($r=0,97$);
- відсотком невиконання посадових обов'язків та відсотком незадовільного технічного стану виробничих об'єктів, будинків, споруд, інженерних комунікацій, території ($r=-0,95$);
- загальним відсотком технічних причин та відсотком незадовільного технічного стану виробничих об'єктів, будинків, споруд, інженерних комунікацій, території ($r=0,93$);
- загальним відсотком технічних причин та загальним відсотком психофізіологічних причин ($r=-0,92$).

Сильні кореляційні зв'язки спостерігаються між:

- кількістю зареєстрованих нещасних випадків та загальною кількістю зареєстрованих випадків професійних захворювань (коефіцієнт кореляції $r=0,76$);
- кількістю зареєстрованих смертельних випадків та кількістю зареєстрованих нещасних випадків ($r=0,88$);
- кількістю зареєстрованих нещасних випадків та загальним відсотком організаційних причин ($r=0,80$);
- кількістю зареєстрованих нещасних випадків та відсотком порушення технологічного процесу ($r=0,88$);
- кількістю зареєстрованих нещасних випадків та відсотком незадовільного технічного стану виробничих об'єктів, будинків, споруд, інженерних комунікацій, території ($r=0,71$);
- загальним відсотком організаційних причин та загальним відсотком технічних причин ($r=0,87$);
- загальним відсотком організаційних причин та відсотком незадовільного технічного стану виробничих об'єктів, будинків, споруд, інженерних комунікацій, території ($r=0,72$);

Таблиця 1

**Динаміка зміни причин та кількості нещасних випадків на виробництві,
професійних захворювань та індексу виробництва продукції в Україні за 2007-
2016 рр. [7, 9, 10]**

Показник	Роки									
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Кількість зареєстрованих нещасних випадків на виробництві [7], у тому числі через:	22226 вип. (з них 1959 смертельні)	16671 вип. (з них 857 смертельні)	12705 вип. (з них 552 смертельні)	13109 вип. (з них 645 смертельні)	11640 вип. (з них 651 смертельні)	10822 вип. (з них 646 – смертельні)	9221 вип. (з них 528 – смертельні)	6850 вип. (з них 525 – смертельні)	4592 вип. (з них 360 – смертельні)	4766 вип. (з них 364 – смертельні)
1. Організаційні причини, найпоширенішими з яких є, %:	77,6	77,8	76,7	78,0	80,0	70,0	68,0	63,7	65,0	65,1
1.1. Невиконання вимог інструкцій з охорони праці, %	31,0	50,2	52,2	44,0	45,3	38,6	38,0	35,9	36,8	35,6
1.2. Невиконання посадових обов'язків, %	4,0	3,1	2,7	-	8,9	8,9	8,9	7,9	8,8	8,7
1.3. Порухення правил безпеки руху (польотів), %	5,0	4,6	4,3	4,0	5,2	5,6	4,4	4,9	5,9	6,1
1.4. Порухення технологічного процесу, %	8,3	4,6	4,7	4,0	3,9	-	4,2	3,8	3,2	3,0
2. Технічні причини, найпоширенішими з яких є, %:	14,3	14,0	14,7	14,0	13,0	12,0	12,0	11,1	11,4	12,1
2.1. Незадовільний технічний стан виробничих об'єктів, будинків, споруд, інженерних комунікацій, території, %	6,2	6,9	7,0	7,0	3,92	3,7	4,5	3,3	3,5	4,1
3. Психофізіологічні причини, найпоширенішими з яких є, %:	8,1	8,2	8,6	8,0	7,0	18,0	20,0	25,2	23,6	22,8
3.1. Травмування (смерть) внаслідок протиправних дій інших осіб, %	3,0	2,5	2,9	3,0	8,0	2,8	3,4	4,6	7,0	5,8
Кількість зареєстрованих професійних захворювань [7], вип.	5947	6793	6046	4965	5396	5612	5861	4352	1764	1603
Індекс виробництва продукції (ІВП), % [9, 10]	110,2	96,9	78,1	112,2	103,4	94,4	99,0	82,8	98,4	103,1

- відсотком невиконання посадових обов'язків та загальним відсотком технічних причин ($r=-0,88$);

- відсотком невиконання посадових обов'язків та загальним відсотком психофізіологічних причин ($r=0,71$);

- відсотком незадовільного технічного стану виробничих об'єктів, будинків, споруд, інженерних комунікацій, території та загальним відсотком психофізіологічних причин ($r=-0,77$).

Чинник індекс виробництва продукції (ІВП) для проведення статистичного аналізу був обраний авторами з міркувань встановлення характеру та сили зв'язків між інтенсифікацією темпів виробництва, про що, зокрема, свідчить коефіцієнт ІВП, та

збільшенням кількості випадків виробничого травматизму та профзахворювань. Однак, проведений кореляційний аналіз, що виявив слабкий кореляційний зв'язок ($r=0,04-0,39$) ІВП з усіма дослідними показниками та чинниками, свідчить про те, що вони між собою майже не пов'язані.

Проведений аналіз статистичних даних показує, що найбільш поширеними причинами нещасних випадків на виробництві є організаційні (70%) [8].

Кореляційний аналіз виявив сильні та дуже сильні кореляційні зв'язки між дослідними парами, членом в яких є переважно організаційні причини, а саме невиконання вимог інструкцій з охорони праці, невиконання посадових обов'язків, порушення правил безпеки руху та порушення технологічного процесу.

Традиційно існує два основних шляхи мінімізації організаційних причин, які умовно можна позначити як:

1. Профілактичні (проведення інструктажів, профілактичних бесід, удосконалення нормативно-правової бази з охорони праці тощо).
2. Технічні (розробка, модернізація та впровадження на підприємствах технічних систем захисту небезпечних зон).

Перший шлях спрямовано на мінімізацію ризиків обумовлених можливим свідомим порушенням вимог безпеки. Цей процес є дуже важливим, але має відтермінований у часі результат та не гарантує досягнення та підтримання прийнятного рівня ризику (завдяки значному впливу на результат, стохастичного за своєю природою «людського фактора»).

Другий шлях дозволяє досягти та підтримувати прийнятні значення рівня ризику виникнення професійних небезпек за рахунок застосування на підприємствах сучасних автоматизованих систем безпеки. Такі системи дозволяють запобігти свідомим та не свідомим діям людини щодо порушення нормативно-правових вимог з охорони праці, а також унеможливити її контакт з небезпечною зоною. Окрім того, згідно ст. 4 Закону України «Про охорону праці», «...забезпечення суцільного технічного контролю за станом виробництва, технологій та продукції...» є одним із основних принципів державної політики в галузі охорони праці.

Відомі наступні автоматизовані системи, що спрямовані на підвищення рівня охорони праці та промислової безпеки на виробництвах [12–17].

Інтегрована система моніторингу об'єктів, що знаходяться під контролем (Патент RU № 2417451) [12] дозволяє значно підвищити рівень безпеки підприємства, шляхом здійснення постійного хімічного та радіаційного контролю, а також забезпечення необхідного рівню пожежовибухобезпеки підприємства.

Недоліком системи є:

- можливість вирішення дуже вузького кола питань, пов'язаного виключно з небезпекою впливу на працівника хімічних та радіаційних НШВФ (система не є універсальною);
- недостатня керованість (в рамках системи не передбачено можливості управління показниками, що контролюються);
- відсутність контролю за помилковими діями працівників (неефективність щодо мінімізації впливу «людського фактора»), особливо в небезпечних виробничих зонах.

Інформаційно-управляюча система комплексного контролю безпеки небезпечного виробничого об'єкта (Патент RU № 2536351) [13].

Система в своєму складі містить засоби отримання натуральних даних технологічного процесу та екологічної ситуації від ділянок небезпечного виробничого об'єкта в часі. Дана система дозволяє попередити можливі аварійні ситуації на хімічно-небезпечних підприємствах (об'єктах) шляхом оперативного застосування превентивних заходів. Принцип її роботи полягає в оцінці відхилень фактичних параметрів від встановлених показників.

Основними недоліками даної системи можна вважати:

- відсутність контролю за помилковими діями працівників (неефективність щодо мінімізації впливу «людського фактора») та рівнем їх підготовки з охорони праці і промислової безпеки.

- обмеженість застосування, оскільки система призначена лише для впровадження на хімічно-небезпечних підприємствах;

- неможливість контролю за іншими небезпечними зонами виробництва, окрім тих, де на працівника діють небезпечні і шкідливі виробничі фактори (НШВФ) хімічної групи.

Автоматизована система протиаварійного захисту шахт (Патент UA № 65121) [14] може застосовуватися для контролю за станом та ходом виробничого процесу, як в гірничій, так і в інших галузях промисловості, які характеризуються наявністю небезпечного технологічного середовища. Впровадження даної системи дозволяє здійснювати оперативне спостереження за технологічним процесом, контролюючи параметри безпеки та стан виробничого середовища; виявляти, на початкових стадіях виникнення, небезпеку та оперативно припиняти її розвиток; проводити прогноз аварійної ситуації на об'єкті.

Недоліком зазначеної системи є відсутність:

- контролю за помилковими діями працівників, які можуть спровокувати розвиток небезпечної, аварійної ситуації (недостатня ефективність щодо мінімізації впливу «людського фактора»);

- ефективних заходів безпеки на випадок аварійної позаштатної ситуації.

Система раннього виявлення надзвичайних ситуацій (Патент UA № 53753) [15] дозволяє проводити безперервний контроль поточних значень потенційно небезпечних технологічних параметрів. В автоматичному режимі забезпечує оперативне реагування відповідних служб підприємства, а також державних установ при різних рівнях загрози (або виникнення) надзвичайних ситуацій (НС). За рахунок використання інструментальних методів моніторингу, система дозволяє мінімізувати вплив «людського фактора» при виявленні загрози виникнення НС.

Недоліком системи є:

- недостатня універсальність (система спрямована на вирішення вузького кола питань, пов'язаних лише з хімічним зараженням місцевості чи об'єктів);

- неможливість автоматичного усунення причин виникнення або загрози виникнення НС (в рамках системи лише здійснюється збір даних, їх обробка та сигналізація про відхилення від встановлених нормованих значень);

- відсутність контролю за помилковими діями працівників, які можуть бути прямою чи опосередкованою причиною НС (недостатня ефективність щодо мінімізації впливу «людського фактора»).

Система автоматизованого контролю безпеки виробництв (Патент UA № 107315) [16] дозволяє зменшити кількість випадків виробничого травматизму та професійних захворювань; сповіщати на ранніх стадіях про деформацію несучих конструкцій будівель, споруд, а також частин виробничого обладнання, які витримують значні динамічні (вібраційні) навантаження; попередити виникнення промислових аварій та катастроф; підвищити культуру праці на виробництві; удосконалити процес контролю за навчанням та підготовкою працівників з охорони праці та промислової безпеки.

Недоліками зазначеної системи є:

- відсутність контролю за певними небезпечними зонами на підприємстві;

- низька ефективність щодо попередження і мінімізації виникнення професійних ризиків, пов'язаних з рухом внутрішньоцехового транспорту по території підприємства.

З метою усунення зазначених недоліків, авторами запропоновано власну автоматизовану систему, яка спрямована на мінімізацію ризиків виникнення професійних небезпек.

Система автоматизованого захисту небезпечних зон та підвищення безпеки руху внутрішньоцехового транспорту (САЗНЗтаПБРВТ), включає сполучені між собою лазерні

випромінювачі, які встановлені в небезпечних зонах виробничого обладнання, камери відеоспостереження за технологічним процесом, датчики GPS, які встановлені на внутрішньо цеховому транспорті підприємства, нормуючі перетворювачі, керуючий мікропроцесорний пристрій (КМП), персональний комп'ютер (ПК), підсилювачі сигналу, світло-звукові сигнальні пристрої, пристрої блокування виробничого обладнання і внутрішньощехового транспорту (рис 2).

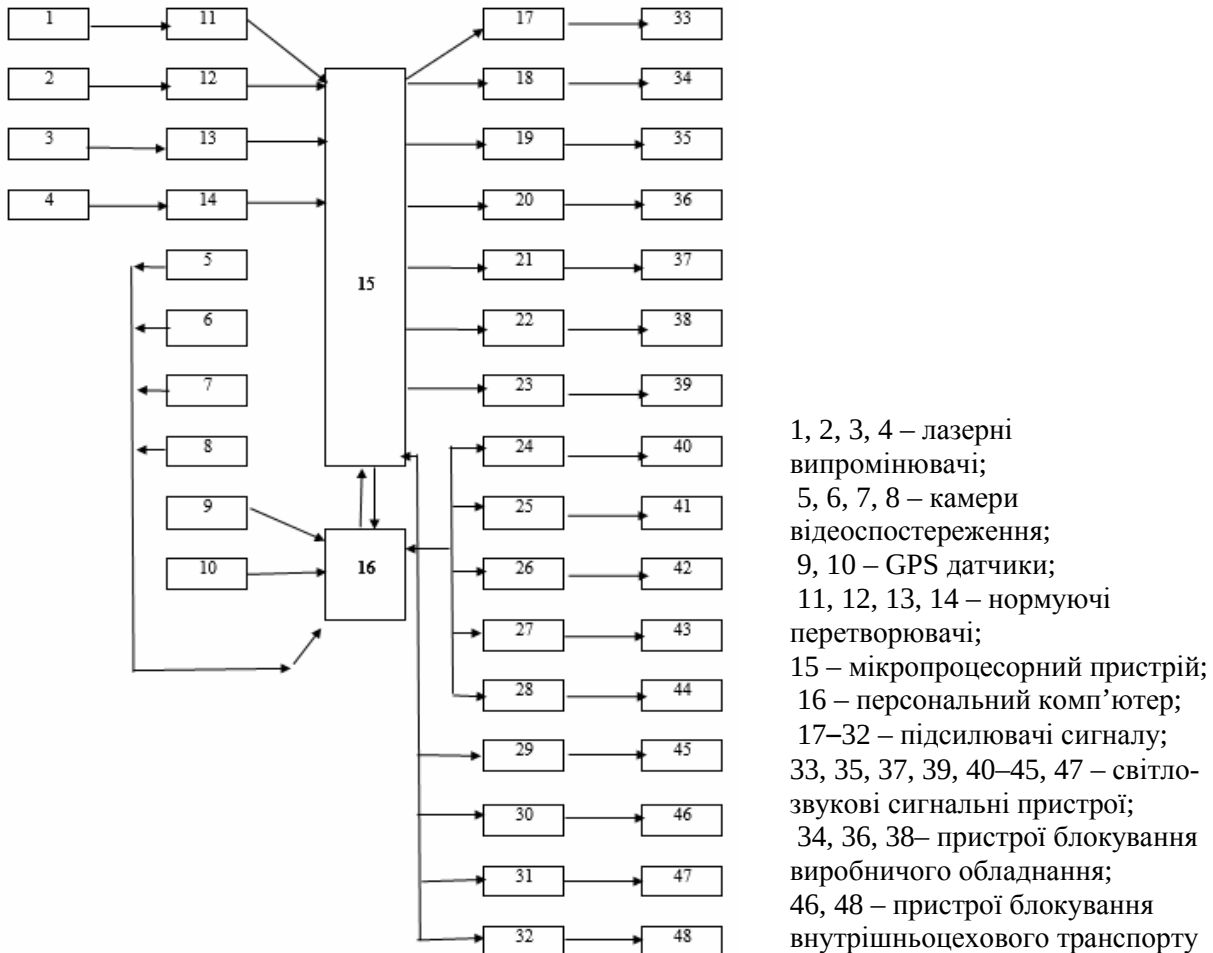


Рис. 2. Принципова схема роботи системи автоматизованого захисту небезпечних зон та підвищення безпеки руху внутрішньощехового транспорту (САЗНЗтаПБРВТ)

Розроблена система працює наступним чином. Працівник перетинає промінь (або декілька променів одразу) від лазерних випромінювачів, які встановлені в небезпечних зонах виробничого приміщення, сигнал, через входи нормуючих перетворювачів надходить до аналого-цифрового перетворювача керуючого мікропроцесорного пристрою (КМП) та обробляється. Вихідний сигнал надходить до відповідного виходу КМП, проходить через підсилювач сигналу та вмикає/вимикає світло-звуковий сигнальний пристрій та пристрій блокування виробничого обладнання.

Інформація з камер відеоспостереження, які встановлено в небезпечних зонах виробничих приміщень, передається в он-лайн режимі на дисплей персонального комп'ютера (ПК). Оператор ПК стежить за ходом виробничого процесу і, при невідповідності дій працівника вимогам інструкції з охорони праці та пожежної безпеки (ОП та ПБ), в ручному режимі подає сигнал на світло-звуковий сигнальний пристрій на відповідному робочому місці та на сигнальний пристрій на посту оперативного чергового з охорони праці.

За кожне таке порушення працівнику нараховується певна кількість штрафних балів. Сума штрафних балів, інформація про порушення працівником вимог інструкцій з

ОП та ПБ протягом трудового стажу, відомості про терміни проходження інструктажів та спеціальних навчань з ОП та ПБ, результати перевірок знань з ОП та ПБ, терміни проходження планових медичних оглядів, а також регламентовані режими праці та відпочинку, з урахуванням умов праці, по кожному з працівників заносяться в загальну виробничу базу даних, яка розміщена на ПК.

Дані загальної виробничої бази використовуються для проведення атестації працівників, з урахуванням зафіксованих системою порушень вимог з ОП та ПБ, до яких він вдавався за певний період свого трудового стажу; розробки індивідуальних модулів для навчання і проведення інструктажів працівників з ОП та ПБ. Матеріали з загальної виробничої бази також можуть бути використані під час обліку та розслідування нещасних випадків на виробництві.

Інформація про пересування внутрішньоцехового транспорту від GPS датчиків передається в он-лайн режимі на дисплей персонального комп'ютера. Оператор персонального комп'ютера стежить за рухом внутрішньоцехового транспорту і, при відхиленні від заданого безпечного маршруту, в ручному або автоматичному режимі, подає сигнал на світло-звукові сигнальні пристрої та на пристрої блокування руху внутрішньоцехового транспорту.

Одночасно з обробкою сигналів в КМП відбувається його взаємодія з ПК через інтерфейс:

- відображається інформація про режими роботи камер відеоспостереження, лазерних випромінювачів, GPS датчиків, світло-звукових сигнальних пристроїв, пристроїв блокування виробничого обладнання і руху внутрішньоцехового транспорту;
- відображається заданий безпечний та реальний (отриманий з GPS датчиків) маршрут руху внутрішньоцехового транспорту;
- відправляються команди, щодо зміни режиму роботи камер відеоспостереження, лазерних випромінювачів, GPS датчиків, світло-звукових сигнальних пристроїв, пристроїв блокування виробничого обладнання і руху внутрішньоцехового транспорту;
- передається зображення з камер відеоспостереження;
- при отриманні сигналу від лазерного випромінювача, який свідчить про вторгнення працівника в небезпечну зону, зображення з камери відеоспостереження, яка це фіксує, виводиться на монітор оператора у повноекранному режимі.
- обробляється та заносяться у загальну виробничу базу даних інформація щодо порушень вимог з ОП та ПБ, нарахування балів, необхідності проведення навчань та перевірок знань працівників, проходження медичних оглядів тощо;
- на основі занесеної до бази інформації, оперативно формуються індивідуальні навчальні модулі, які враховують обставини, що супроводжували порушення, особистість працівника (досвід, кваліфікацію), попередні порушення.

Система постійно стежить за небезпечними зонами у виробничому приміщенні, рухом внутрішньоцехового транспорту лише по заданому, безпечному для працівників, маршруту та оперативно інформує про ризик виникнення небезпеки.

Запропонована авторами система запатентована [18].

Висновки.

1 На основі проведеного статистичного аналізу щодо причин виникнення нещасних випадків, визначено доцільність застосування на підприємствах сучасних автоматизованих систем безпеки для досягнення та підтримки прийнятних значень рівня ризику виникнення професійних небезпек.

2 Недоліками існуючих автоматизованих систем, що спрямовані на підвищення рівня охорони праці на виробництвах є:

- відсутність контролю за певними небезпечними зонами на підприємстві;
- низька ефективність щодо попередження і мінімізації виникнення професійних ризиків, пов'язаних з рухом внутрішньоцехового транспорту по території підприємства;
- обмеженість для застосування на підприємствах різних галузей;

– неефективність щодо мінімізації впливу «людського фактора» тощо.

3 Запропонована автоматизована система спрямована на мінімізацію ризиків виникнення професійних небезпек, за рахунок постійного контролю з боку технічних засобів за небезпечними зонами та рухом внутрішньоцехового транспорту.

Література

- 1 ДСТУ 2293:2014 Охорона праці. Терміни та визначення основних понять.
- 2 Бочковський А. П. «Людський фактор» та професійний ризик: випадковість чи закономірність [Текст] / А. П. Бочковський // Зернові продукти і комбікорми, 2014. – № 4 (56). С. 7-13. doi:10.15673/2313-478x.56/2014.36124
- 3 Белікова А.С. Обґрунтування необхідності управління виробничим ризиком [Текст] / А.С. Беліков, М.А. Касьянов, О.М. Гунченко, Ю.А.Тищенко // Строительство, материаловедение, машиностроение. Серия Безопасность жизнедеятельности, 2016. – Вип. 93. – С. 93–105.
- 4 Смирнитская, М. Б. Качественный анализ системы управления охраной труда машиностроительного предприятия [Текст] / М.Б. Смирнитская // Машиностроение. – 2015. – № 16. – С. 139–144. <http://repo.uipa.edu.ua/jspui/handle/123456789/4802>
- 5 Кружилко О.Є. Удосконалення комплексної оцінки стану охорони праці на підприємствах [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук. : 05.26.01 / О.Є.Кружилко. – Київ, 2001. – С. 20
- 6 Богданова О.В. Удосконалення науково-методичних підходів до планування заходів зі зниження виробничих ризиків [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук. : 05.26.01 / О.В. Богданова. – Київ, 2016. – С. 20
- 7 Аналіз страхових нещасних випадків та професійних захворювань в Україні в 2007 – 2016 рр. Фонд соціального страхування від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань в Україні [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.social.org.ua/activity/stat> ,
- 8 Bochkovskii, A. P. Promising direction for improving regulatory legal framework on labour protection for enterprises production food and beverages [Text] / A. P. Bochkovskii, N. Y. Sapozhnikova // Environmenta safety and sustainable resources management. – 2015. – № 2 (12). – P. 85–93. DOI: 10.13140/RG.2.1.4156.3927
- 9 Индекс производства продукции в Украине по рокам. Минфин [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://index.minfin.com.ua/index/prom/>
- 10 Основні показники соціально-економічного розвитку України за 2007 – 2016 рр. Державна служба статистики України [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
- 11 Харченко, М.А. Корреляционный анализ [Текст]: Учебное пособие для ВУЗов / М.А. Харченко. – ВГУ, 2008. – 31 с
- 12 Інтегрована система моніторингу об'єктів, що знаходяться під контролем. Патент Російської Федерації на корисну модель МПК G08B19/00 [Текст] / Александров О.М., Котлик В.Є., Соловьев С.М., Антонов Л.Ю. - № 2417451; заявл. 03.07.2006; опубл. 24.04.2011 [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.freepatent.ru/patents/2417451>
- 13 Інформаційно-управляюча система комплексного контролю безпеки небезпечного виробничого об'єкта. Патент Російської Федерації на корисну модель МПК G06F17/00, G08B23/00, G01W1/00 [Текст] / Алексеев В.О., Бурков В.М., Вахрушев С.А. - № 2536351; заявл. 02.07.2013; опубл. 20.12.2014 [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.freepatent.ru/patents/2536351>
- 14 Автоматизована система протиаварійного захисту шахт. Патент України на корисну модель МПК E21F 17/18, G08B 31/00 [Текст] / Сіненко В.В., Сіроткін О.А., Курносів В.Г., Сірченко В.М., Мухін П.Є., Большаков П.Я. - № 65121; заявл. 10.07.2008; опубл. 25.11.2008, Бюл. 22 [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://uapatents.com/5-37488-avtomatizovana-sistema-kompleksno-bezpeki-shakht.html#metki>
- 15 Система раннього виявлення надзвичайних ситуацій. Патент України на корисну модель МПК G08B 19/00 [Текст] / Плотников І.В., Плотніков Д.В., Липчанський В.І. - № 53753; заявл. 12.08. 2010; опубл. 11.10.2010, Бюл. 19 [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://uapatents.com/4-53753-sistema-rannogo-viyavlennya-nadzvichajnikh-situacij.html>
- 16 Система автоматизованого контролю безпеки виробництв. Патент України на корисну модель МПК G08B 23/00, G06F 17/00 [Текст] / Бочковський А.П., Сапожнікова Н.Ю. - № 107315; заявл. 29.12.2015; опубл. 25.05.2016, Бюл. 10 [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://uapatents.com/7-107315-sistema-avtomatizovanogo-kontrolyu-bezpeki-virobnictv.html>
- 17 Бочковський, А. П. Формалізація системи автоматизованого контролю і підвищення безпеки виробництв [Текст] / А. П. Бочковський, Н.Ю. Сапожнікова // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, 2017. – № 15 – С. 114–123 DOI: 10.13140/RG.2.2.11062.29762

18 Система автоматизованого захисту небезпечних зон виробництва та безпеки руху внутрішньо цехового транспорту. Патент України на корисну модель МПК G06F 17/00, G08B 23/00 [Текст] / Бочковський А.П., Сапожнікова Н.Ю. - № 116307; заявл. 19.12.2016; опубл. 10.05.2017, Бюл. 9 [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/317175918_Sistema_avtomatizirovannoj_zasity_opasnyh_zon_proizvodstva_i_bezopasnosti_dvizhenia_vnutricehového_transporta_The_system_of_automated_protection_of_hazardous_production_zones_and_traffic_safety_of_in-v

© А. П. Бочковський,
Н. Ю. Сапожнікова

*Надійшла до редакції 25 вересня 2017 р.
Рекомендував до друку
докт. техн. наук Я. М. Семчук*

УДК 331.45:331.46-044.68

*А. М. Гайдін
Інститут «ГІРХІМПРОМ»*

ГЕОМЕХАНІКА СТЕБНИЦЬКОГО ПРОВАЛУ

Запропоновано математичний опис складових процесу провалу земної поверхні над виробленим простором рудника №2 в м. Стебнику Львівської області. Виділені наступні стадії процесу: підрізання ціликів внаслідок їх розчинення ненасиченим розсолон, обвалення ціликів, вивал водозахисної стелини, течія покриваючих нестійких порід у порожнину, формування провальної лійки.

Ключові слова: соляна шахта, затоплення, розчинення, склепіння, ядро текучості, провал.

A mathematical description of the components of sinkhole formation process above the mine 2 worked – out space in the town of Stebnyk, Lviv Region, has been suggested. The following stages of the process have been singled out: undermining of support pillars by unsaturated salt solution, collapse of the support pillars, fall of the water-blocking roof, flow of unstable overburden rocks into the void, formation of a collapse sinkhole.

Key words: salt mine, flooding, dissolution, dome of equilibrium, flowing main body, sinkhole

Постановка проблеми. Багато соляних рудників були знищені внаслідок прориву прісної води в гірничі виробки. Така ситуація склалась із рудником №2 в Стебнику, де 30 вересня 2017 року над видобувними камерами пласта №10 утворився провал поверхні діаметром більше 200 м і глибиною біля 45 м.

Поклади кам'яної і калійної солей водотривкі, непроникливі. Зверху вони зазвичай перекриті елювієм – слабо проникливими глинистими породами (кепроком), які захищають соляний масив від агресивних підземних і поверхневих вод. Однак, на контакті солей з покриваючими породами (соляному дзеркалі), залишається проникливий шар деструктурованої солі, що вміщує розсіл. На ділянках сучасного або древнього розмиву кепроку розсільний горизонт гідравлічно зв'язаний з водами зони активного водообміну. В природних умовах водообмін у розсільному горизонті дуже повільний. Але коли його розкривають гірничими виробками, починається рух розсолу. В зоні живлення до соляного дзеркала підтягується прісна вода. Вода розчиняє сіль, розвивається карстовий канал. Провідність розсільного горизонту зростає, приплив води в шахту збільшується. Течія агресивної води у гірничі виробки створює небезпеку їх руйнування, обвалу покриваючих порід, знищення рудника.

18 Система автоматизованого захисту небезпечних зон виробництва та безпеки руху внутрішньо цехового транспорту. Патент України на корисну модель МПК G06F 17/00, G08B 23/00 [Текст] / Бочковський А.П., Сапожнікова Н.Ю. - № 116307; заявл. 19.12.2016; опубл. 10.05.2017, Бюл. 9 [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/317175918_Sistema_avtomatizirovannoj_zasity_opasnyh_zon_proizvodstva_i_bezopasnosti_dvizhenia_vnutricehového_transporta_The_system_of_automated_protection_of_hazardous_production_zones_and_traffic_safety_of_in-v

© А. П. Бочковський,
Н. Ю. Сапожнікова

*Надійшла до редакції 25 вересня 2017 р.
Рекомендував до друку
докт. техн. наук Я. М. Семчук*

УДК 331.45:331.46-044.68

*А. М. Гайдін
Інститут «ГІРХІМПРОМ»*

ГЕОМЕХАНІКА СТЕБНИЦЬКОГО ПРОВАЛУ

Запропоновано математичний опис складових процесу провалу земної поверхні над виробленим простором рудника №2 в м. Стебнику Львівської області. Виділені наступні стадії процесу: підрізання ціликів внаслідок їх розчинення ненасиченим розсолон, обвалення ціликів, вивал водозахисної стелини, течія покриваючих нестійких порід у порожнину, формування провальної лійки.

Ключові слова: соляна шахта, затоплення, розчинення, склепіння, ядро текучості, провал.

A mathematical description of the components of sinkhole formation process above the mine 2 worked – out space in the town of Stebnyk, Lviv Region, has been suggested. The following stages of the process have been singled out: undermining of support pillars by unsaturated salt solution, collapse of the support pillars, fall of the water-blocking roof, flow of unstable overburden rocks into the void , formation of a collapse sinkhole.

Key words: salt mine, flooding, dissolution, dome of equilibrium, flowing main body, sinkhole

Постановка проблеми. Багато соляних рудників були знищені внаслідок прориву прісної води в гірничі виробки. Така ситуація склалась із рудником №2 в Стебнику, де 30 вересня 2017 року над видобувними камерами пласта №10 утворився провал поверхні діаметром більше 200 м і глибиною біля 45 м.

Поклади кам'яної і калійної солей водотривкі, непроникливі. Зверху вони зазвичай перекриті елювієм – слабо проникливими глинистими породами (кепроком), які захищають соляний масив від агресивних підземних і поверхневих вод. Однак, на контакті солей з покриваючими породами (соляному дзеркалі), залишається проникливий шар деструктурованої солі, що вміщує розсіл. На ділянках сучасного або древнього розмиву кепроку розсільний горизонт гідравлічно зв'язаний з водами зони активного водообміну. В природних умовах водообмін у розсільному горизонті дуже повільний. Але коли його розкривають гірничими виробками, починається рух розсолу. В зоні живлення до соляного дзеркала підтягується прісна вода. Вода розчиняє сіль, розвивається карстовий канал. Провідність розсільного горизонту зростає, приплив води в шахту збільшується. Течія агресивної води у гірничі виробки створює небезпеку їх руйнування, обвалу покриваючих порід, знищення рудника.

Підземну розробку соляних родовищ, як правило, здійснюють камерним способом. Для попередження зрушення земної поверхні між видобувними камерами залишають цілики, які сприймають на себе вагу покриваючих порід. Над виробленим простором залишають соляну водозахисну стелину. Зокрема на руднику №2 в Стебнику водозахисна стеліна має товщину 50 м, її підпирають цілики шириною 12 м з запасом міцності 2,5–3,0. Пройдено 4 горизонти видобувних камер. Камери мають висоту 40–60 м, ширину 15 м. Між першим і другим горизонтами залишено міжповерхову стеліну товщиною 12 м.

Прорив води стався в 1978 році і з того часу невпинно збільшувався. В 2002 році осушення рудника припинено. До 2007 року затоплено два найглибших горизонти, де запас міцності ціликів дуже великий і вони не втратили стійкості. З 2007 року затоплювався другий горизонт.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У відомій автору літературі [1, 2] зазвичай висвітлюється послідовність подій, які закінчуються катастрофічними провалами підпрацьованого масиву. Розрізняють дві причини провалів земної поверхні в зоні діяльності соляних рудників: 1) розвиток карстової порожнини в зоні живлення розсільного горизонту і 2) обвалення ціликів, підрізаних ненасиченими розсолами. Вербальний опис механізму карстових провалів наведений в роботах [3, 4] та ін. Намагання математичного опису окремих стадій процесу висвітлено в книзі [5]. У даній статті наведено першу спробу математичного опису всього ланцюга процесів, пов'язаних з підрізанням і обваленням ціликів, на прикладі провалу над рудником №2.

Виклад основного матеріалу. З цією метою виділені наступні стадії ланцюга подій, які закінчуються провалом: 1) підрізання ціликів ненасиченим розсолом (ННР); 2) втрата стійкості ціликів і їх обвал; 3) вивал водозахисної товщі з утворенням склепіння; 4) провал покрівлі склепіння і формування ядра текучості в надсолевій товщі з витіканням розрихлених порід у порожнину; 5) утворення субвертикального провалля, 6) обвали і зсуви бортів провалля з формуванням лійки на земній поверхні. Розглянемо кожну із стадій.

Стадія 1 – підрізання ціликів. Приплив ненасиченого розсолу (ННР) у видобувну камеру призводить до утворення ніш розчинення у прилягаючих ціликах. Для калійної руди пласта №10 концентрація насиченого розсолу становить 388,5 г/дм³. Швидкість розчинення пропорційна дефіциту насичення – різниці концентрацій насиченого розсолу і ННР. Коефіцієнт пропорційності залежить від мінерального складу солі, вмісту нерозчинних домішок, від хімічного складу і температури ННР.

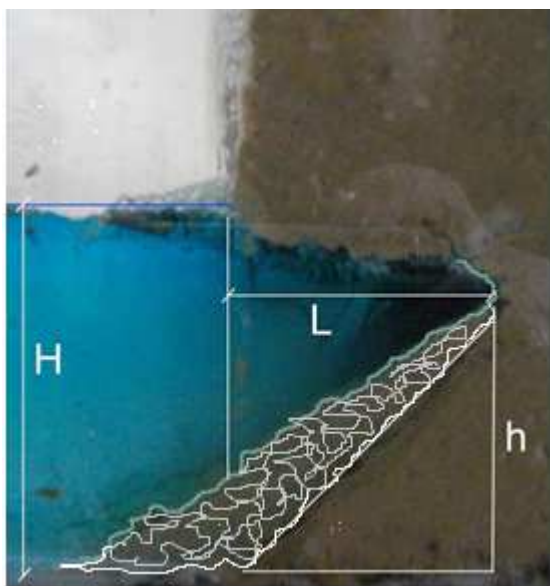


Рис.1. Ніша в цілику при затопленні камер агресивним розсолом (модель)

Агресивний розсіл летить в камеру зверху, виходить через орти в штреки і розповсюджується виробленим простором. Дослідження на фізичних моделях [5] показало, що за наявності у складі солей нерозчинних домішок, ніші розчинення мають у вертикальній площині форму трикутника (рис. 1).

Розчиняється тільки покрівля ніші, тоді як нижня поверхня захищається від дії ННР нерозчинним осадом. Для розрахунку глибини ніші розчинення L на основі фізичного моделювання запропонована емпірична формула:

$$L = H_p \times \frac{V_p}{V_n + V_p \times \operatorname{tg} \varphi}, \quad (1)$$

де H_p – глибина від поверхні ННР до основи цілика; m , V_p – швидкість розчинення, м/рік; V_n – швидкість підняття рівня розсолу, м/рік; $\operatorname{tg} \varphi$ –

нахил поверхні призми нерозчинного осаду в низу ніші.

В розсолі кут відкосу осаду більший, ніж у прісній воді. На моделях вказаний кут становив біля 45° , тобто $tg\varphi=1$.

Для визначення швидкості розчинення ми опускали моноліти калійної руди безпосередньо в камеру, куди припливав ННР з мінералізацією $343,5 \text{ г/дм}^3$ і зважували зразки до і після перебування в розсолі. Швидкість розчинення становила приблизно $1,3 \text{ м/рік}$. Швидкість підняття рівня розсолів в камерах рудника в останні роки становила $3,6 \text{ м за рік}$.

Інший спосіб визначення глибини ніш полягає в розрахунку об'єму зруйнованої внаслідок розчинення руди. Для цього необхідно знати різницю D в мінералізації розсолу вверху і внизу затопленої частини камери і об'єм ННР W_b , що протік через камеру. Маса розчиненої солі M дорівнює:

$$M = D \times W_e, \text{ а об'єм } W_m = \frac{M}{\rho}, \quad (2)$$

де ρ – питома маса розчинних мінералів; D – дефіцит насичення.

Об'єм зруйнованої руди дорівнює об'єму легкорозчинних мінералів, поділений на вміст останніх n у частинах одиниці:

$$W_p = \frac{W_m}{n}. \quad (3)$$

Оскільки розчиняються обидва цілики, об'єм ніші в одному з них дорівнює $0,5 W_p$. Знаючи довжину цілика, знаходимо площу і глибину ніші. Цей спосіб потребує визначення об'єму ННР, що вливається в камеру і відбору проб води із затопленої камери. В реальних умовах це потребує праці в небезпечних умовах. Ми таким чином перевірили достовірність розрахунку по формулі (1).

Стадія 2. Втрата стійкості і обвал ціликів. Стійкість ціликів характеризують коефіцієнтом запасу міцності, який є відношенням опору цілика стисканню до навантаження [6]. При запасі міцності $n \geq 2,5$ цілики є жорсткими і зберігають довготривалу стійкість. При n від $2,5$ до $1,4$ цілики податливі, вони зберігають стійкість тимчасово, осідають і в кінцевому рахунку роздавлюються. При запасі міцності $n \leq 1$ цілик безумовно руйнується. Для стрічкових ціликів навантаження на цілик F дорівнює:

$$F = \rho \times H \times (a + b), \quad (4)$$

де ρ – питома вага покриваючих порід, H – глибина від поверхні до покрівлі камер, a – ширина камер, b – ширина ціликів.

Несучу властивість ціликів P визначають за формулою:

$$P = 1,15 \times \sigma \times b \left(\frac{b}{h} \right)^{0,5}, \quad (5)$$

де σ – опір соляної породи на стискання; h – висота цілика.

Умовою руйнування цілика є:

$$\frac{P}{F} \leq 1. \quad (6)$$

Для другого горизонту Стебницького рудника №2 $\rho=2,2 \text{ т/м}^3$, $H=200 \text{ м}$, $a=15 \text{ м}$, $b=12 \text{ м}$, $\sigma=820 \text{ т/м}^2$, $h=40 \text{ м}$. Обчислюючи рівняння відносно b , одержимо умову руйнування: ширина цілика $b \leq 3,7 \text{ м}$, тобто глибина ніші розчинення L у цілику шириною 12 м $L \geq 8,3 \text{ м}$.

З формули (1) при $tg\varphi=1$ висота стовпа розсолу, при якій цілик втратить стійкість, становить:

$$H_p = L \times \frac{V_n + V_p}{V_p} = 31 \text{ м}.$$

Розрахунки повністю підтвердилися. Активне обвалювання ціликів виявлено по прискоренню підняття рівня розсолу (рис. 2). Як видно на графіку, при висоті стовпа розсолу в камерах другого горизонту $H_p = 33$ м, у вересні 2014 року швидкість підняття рівня розсолу різко збільшилася з 0,3 до 4 м/місяць. Для підтвердження причини було проведено візуальне обстеження стану ціликів і безпосередньо зафіксовано обвалення 5 ціликів, №№108-113 і утворення куполу в стеліні над ними.

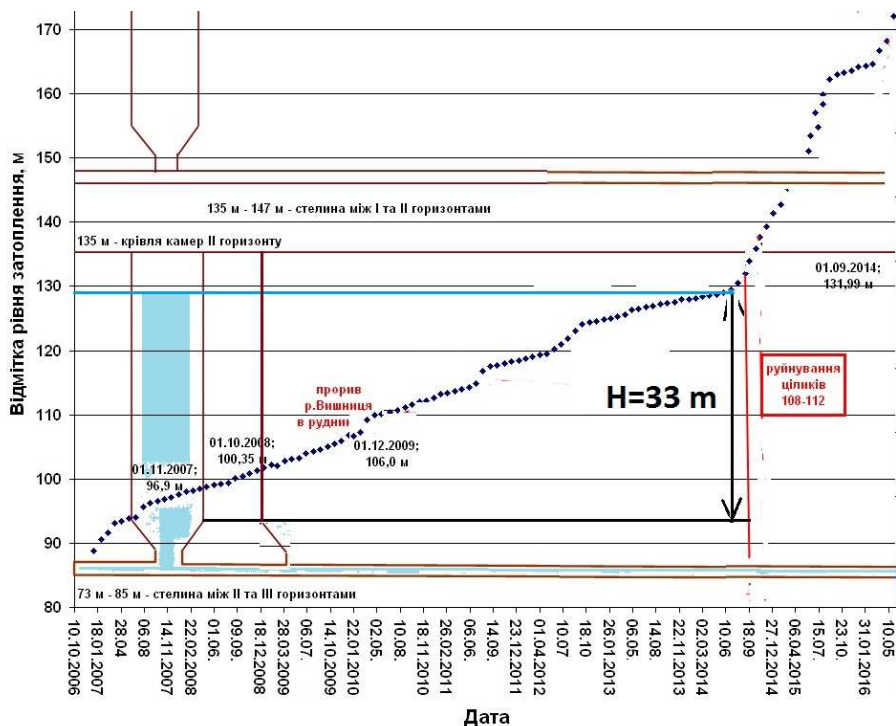


Рис.2. Графік підняття рівня розсолів в руднику №2 (склав В. О. Дяків)

Обвалення ціликів другого горизонту і міжповерхової стеліні викликало зависання і обвал ціликів першого горизонту. Над обваленими ціликами у водозахисній стеліні утворилося склепіння.

Стадія 3. Утворення склепіння у водозахисній товщі. Водозахисна стеліна над зруйнованими ціликами залишається стійкою до деякої критичної ширини c , яка визначається за формулою [7]:

$$c = ((0,45 \times \sigma \times Z^2) / (Z + H_1) \times \rho)^{0,5}, \quad (7)$$

де σ – опір породи стисканню, т/м²; Z – потужність водозахисної товщі, м; H_1 – потужність покриваючих порід («наносів») над соляним покладом, м; ρ – питома маса порід, т/м³. Для умов Стебницького рудника $Z = 50$ м, $c = 53$ м.

Якщо ширина відслоненої покрівлі перебільшує вказану критичну ширину, у стеліні здійснюється вивал з утворенням склепіння рівноваги. Форма склепіння залежить від міцності порід. На рис. 3 показано склепіння над виробленим простором соляного рудника №7 в Солотвині. Відношення ширини склепіння B до його висоти дорівнює 3. Оскільки міцність калійної і кам'яної солей приблизно однакова, за аналогією приймаємо вказане відношення для подальших обчислень.



Рис.3. Склепіння над обваленими ціликами (шахта №7 в Солотвині)

Для рудника №2, де потужність водозахисної стелі Z становить 50 м, ширина склепіння B , при якій верхівка досягає соляного дзеркала, дорівнює:

$$B = 3 \times Z = 150 \text{ м.}$$

Оскільки сума ширини блока (цілика і камери) становить 27 м, число зруйнованих ціликів, при якому склепіння досягає соляного дзеркала, становить $150/27=5,5$.

Стадія 4. Формування ядра текучості в надсолевій товщі. Коли верхівка склепіння у водозахисній стелі досягає соляного дзеркала, утворюється діра в покрівлі склепіння. Внаслідок цього у надсолевій товщі спочатку також утворюється склепіння. Проте в слабо зцементованих породах склепіння перетворюється в ядро текучості (рис. 4). Цей процес аналогічний добре відомому випуску подрібнених руд з одиночного випускного отвору [8]. В однорідному середовищі ядро текучості має форму овалоїда з ексцентриситетом (відношенням розміру горизонтальної осі до вертикальної):

$$\frac{a}{b} = \lambda, \quad (9)$$

де λ – коефіцієнт бокового розпору.

Для масиву роздільно-зернистих порід, в якому зчеплення відсутнє:

$$\lambda = \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right), \quad (10)$$

де φ – кут внутрішнього тертя.

Наприклад, при $\varphi=30^\circ$, $\lambda=0,33$; $\varphi=25^\circ$, $\lambda=0,40$.

Склепіння над ядром текучості стрибкоподібно обвалюється. Продукти обвалювання сповзають по параболоїдній нижній поверхні ядра до місця провалу водозахисної стелі, а склепіння зростає вгору. Об'єм ядра текучості W_0 в момент, коли його вершина досягає земної поверхні, визначається за формулою [8]:

$$W_0 = 0,524 \times H_1^3 \times (1 - \lambda^2), \quad (11)$$

де H_1 – потужність покриваючих порід, м.

Ексцентриситет овалоїда залежить від фізико-механічних властивостей руди. Чим більший коефіцієнт внутрішнього тертя, тим менший ексцентриситет.

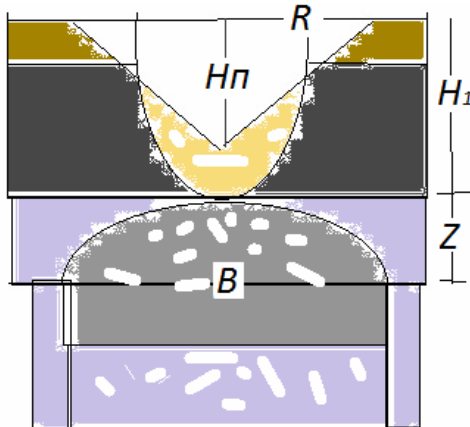


Рис.5. Схема провалу над виробленим простором. Умовні позначки такі, як на рис. 3.

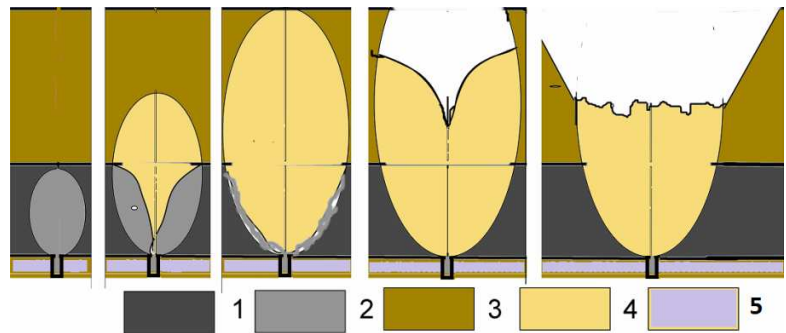


Рис. 4. Схема розвитку ядра текучості (1 – кепрок, 2 – він же розпушений, 3 – покриваючі рихлі породи, 4 – вони ж розпушені, 5 – сіль)

Стадія 5. Утворення провалля (рис. 5). В момент, коли верхівка ядра текучості досягає земної поверхні, об'єм розпушеної породи W_p дорівнює:

$$W_p = W_0 \times K_p, \quad (12)$$

де K_p – коефіцієнт розпушення, відношення об'єму розпушеної породи до об'єму тієї ж породи в природному заляганні. Табличне значення $K_p=1,3$. В цей момент у вироблений простір витікає об'єм надсолевих порід ΔW , рівний різниці:

$$\Delta W = W_p - W_0 = W_0 \times (K_p - 1). \quad (13)$$

Якщо об'єм порожнини в солях менший за ΔW , ядро текучості не досягає поверхні, провал землі не здійснюється, в надсолевій товщі утворюється зона розуцільнення.

Якщо об'єм порожнини в солях більший за

ΔW , утворюється провалля з нависаючими стінками об'ємом, рівним різниці:

$$\Delta W_2 = \frac{W_1}{K_p}, \quad (14)$$

де W_1 - об'єм виробленого простору W_1 під склепінням над обваленими ціликами. Після того стінки обвалюються і утворюється лійка – провал набуває форми перевернутого конусу.

При умові $W_p \leq W_1$ дно лійки досягає покрівлі солей.

Стадія 6. Формування лійки на земній поверхні. Нависаючі стінки провалля обвалюються, поки не утвориться лійка з природним кутом схилів α , який зазвичай становить 25-30°.

На основі наведених закономірностей оцінимо параметри провалля при обваленні 5 ціликів на руднику №2 в Стебнику. Об'єм виробленого простору W_1 очевидно дорівнює об'єму 5 камер на двох горизонтах. Зауважимо, що вивал породи із стелини при утворенні склепіння не змінює об'єму порожнини.

Довжина камер $L_k=105$ м, ширина $a=15$ м, сумарна висота камер на двох горизонтах $H_k=100$ м. Об'єм виробленого простору W_1 під склепінням над 5-тма камерами становить:

$$W_1 = 5 \times L_k \times a \times H_k = 945 \text{ тис.м}^3. \quad (15)$$

Об'єм конусу $W_2=945/1,3 = 726$ тис. м³. Приймаючи форму лійки за конус з кутом нахилу бортів 30° ($\text{tg}\alpha=0,58$), знаходимо радіус R і глибину провалу H_p ($H_p = R \times \text{tg}\alpha$).

$$W_2 = \pi \times R^3 \times \frac{\text{tg}\alpha}{3}. \quad (16)$$

Звідки $R=101$ м, $H_p = 58$ м. Дно провалу не досягає соляного дзеркала, над ним залишається шар розпушної породи товщиною $H_1-H_p=80-58=22$ м.

Фактично над рудником №2 в Стебнику утворився провал радіусом 107 м глибиною 40 м (рис. 6). Верхня частина лійки являє собою обрив висотою біля 10 м. Кут нахилу бортів від 28 до 30°. Фактичний об'єм провалу 720 тис. м³, що відповідає результатам розрахунку.



Рис. 6. Провал над рудником № 2 в Стебнику

Висновки.

1 Запропонований математичний опис процесів, які призводять до утворення провалу земної поверхні внаслідок підрізання ціликів соляних шахт.

2 Виділені наступні стадії розвитку провалу: розчинення ціликів ненасиченим розсолом, обвалення ціликів, утворення склепіння у водозахисній стелині, течія покриваючих нестійких порід у вироблений простір, формування провальної лійки.

3 Результати розрахунків співставлені з фактичними спостереженнями на руднику №2 в м. Стебнику і дали задовільну достовірність.

4 Запропонована методика може бути використана для прогнозування провалів, викликаних підрізанням ціликів при проривах води в соляні шахти.

Література

- 1 Андреичев А.Н. Разработка калийных месторождений. – М.: Недра, 1996. - 250 с.
- 2 Шокин Ю.П. Анализ причин затопления калийных рудников ГДР и ФРГ подземными водами и рассолами. – Тр. ВНИИГ, вып.51. 1969. С.22-40.

3 Осипов В.И., Барях А.А., Санфиров И. А. Гидрогеомеханические условия формирования карстовых провалов на территории калийных рудников в г. Березники Пермского края. //Геозкология. - 2016. - №2. – С. 142-149.

4 Короткевич Г.В. Соляной карст. –Л.: Недра, 1967. -180 с.

5 Гайдін А.М., Рудько Г.І. Техногенний карст. – Київ – Чернівці: Букрек, 2016. – 200 с.

6 Пермяков Р.С., Романов В.С., Бельди М.П. Технология добычи солей. - М.:Недра, 1981. - 272 с.

7 Шашенко А.Н., Майхерчик Т., Сдвижкова Е.А. Геомеханические процессы в породных массивах. –Днепропетровск: Изд-во Нац. горн. ун-та, 2005. – 349 с.

8 Бизов В.Ф., Корж В.А. Бібліотека гірничого інженера. Том XII. Підземні гірничі роботи.– Кривий Ріг: Мінерал. 2003. - 286 с.

© А. М. Гайдін

Надійшла до редакції 03 листопада 2017 р.

Рекомендував до друку

докт. геол.-мін. наук О. М. Адаменко

ТЕХНОЕКОЛОГІЯ

УДК 520:620

Г. В. Кошлак, А. М. Павленко
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу

ЗМЕНШЕННЯ ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ ВУГІЛЬНИХ ТЕС НА ДОВКІЛЛЯ (НА ПРИКЛАДІ БУРШТИНСЬКОЇ ТЕС)

В статті проаналізовано проблему підвищення екологічної безпеки енергетичних об'єктів – ТЕС України, на прикладі Бурштинської теплової електростанції. Наведено результати досліджень якісного та кількісного впливу твердих відходів виробництва ТЕС на стан навколишнього середовища. Доведено, що в зонах впливу об'єкту теплоенергетики формуються несприятливі екологічні умови, які пов'язані із забрудненням атмосферного повітря, ґрунтів, поверхневих та ґрунтових вод Галицького району. Розроблено заходи для зменшення шкідливих викидів при спалюванні низькосортних видів вугілля.

Ключові слова: екологія енергетики, теплові електричні станції, техногенні відходи.

The article analyzes the problem of improving the ecological safety of energy facilities – TPP of Ukraine, using the example of the Burshtyn TPP. The results of studies of the qualitative and quantitative impact of solid waste produced by TPP on the state of the environment are presented. It is proved that unfavorable environmental conditions are formed in the zones of influence of the heat power engineering object, which are associated with the pollution of atmospheric air, ground, surface and groundwater in the Halytsky district. Measures have been developed to reduce harmful emissions from the burning of low grade coal species.

Keywords: ecology energy, thermal power plants, industrial waste.

Постановка проблеми. Об'єкти енергетики є безперервно діючими джерелами шкідливих викидів у навколишнє середовище. Екологічні проблеми та ризики пов'язані з довготривалою експлуатацією ТЕС за своєю актуальністю мають першочергове значення для оцінки ступеню впливу об'єктів підвищеної екологічної безпеки та визначення стратегії розвитку енергетики України. На сьогоднішній день стан генеруючого устаткування об'єктів теплової енергетики характеризується високим ступенем фізичного і морального зносу, а обладнання на багатьох теплових електричних станціях не відповідає сучасним екологічним вимогам. Використання українськими ТЕС вугілля низької якості, неефективний ступінь очищення димових газів призводить до збільшення об'ємів викидів шкідливих речовин в атмосферу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідженням проблем екологічної безпеки територій, що знаходяться під впливом ТЕС присвячені наукові розробки [1–4], в яких детально проаналізовано основні чинники (хімічні, фізичні, біологічні та трансформації ландшафтів) техногенної небезпеки регіону та розроблено систему практичних заходів щодо управління регіональною екологічною безпекою. В роботах доведено та обґрунтовано, що основними факторами, які впливають на екологічну безпеку об'єкта (підприємства, регіону) є кількість забруднюючих речовин у димових газах, що надходять до атмосфери, стічні води промислових підприємств і тверді відходи (золашлаки, шлами). Оскільки технологія виробництва електроенергії пов'язана з перетворенням практично всіх витрачених матеріальних ресурсів і переважної частини енергії палива у відходи, що викидаються у навколишнє середовище, то як результат,

ТЕС, що працюють на органічному паливі, є потенційними джерелами антропогенного навантаження на навколишнє середовище.

Сучасний стан шкідливих забруднень в Україні об'єктами теплоенергетики в цілому перевищує нормативи ЄС у 5–30 разів, а також й діючі національні нормативи [5]. Масштаби техногенного впливу ТЕС на довкілля визначаються багатьма факторами і залежать від виду органічного палива, його якісних характеристик, рівня технологічних процесів спалювання, технічного стану обладнання, газоочисних установок та ін. Однією з причин підвищених показників забрудненості довкілля є використання низькоякісного вітчизняного вугілля на українських ТЕС з високими показниками зольності. В результаті спалювання вугілля в атмосферу викидається основна частка техногенного вуглецю у вигляді CO_2 , близько 50% SO_2 , 35% NO_x та пилу. Також димові гази містять СО (карбон(II) оксид, чадний газ) та токсичні органічні сполуки, включаючи бензо(а)пірен ($\text{C}_{20}\text{H}_{12}$), діоксини, летючу золу, оксиди сірки SO_x (сульфур IV та сульфур VI оксиди), оксиди азоту NO_x (нітроген(II) та нітроген(IV) оксиди), деяку кількість фтористих сполук, а також газоподібні продукти неповного згоряння палива. Викиди димових газів, що містять часточки золи, легко розповсюджуються на значні відстані та потрапляють в легені людини і є дуже небезпечними. Найбільшу шкоду здоров'ю завдають дрібні зважені часточки діаметром до 2,5 мкм, які при сприятливих погодних умовах утворюють аерозолі. За даними М. С. Гольденберга, при шаровому спалюванні тільки 3% часточок, що викидаються через димові труби мають $d < 10$ мкм, а при пилевугільному – не менше ніж 20–45%. Ці часточки можуть потрапляти глибоко до легень, викликаючи цілу низку різноманітних захворювань. При фотохімічних і патологічних реакціях в атмосфері утворюються оксиди NO_x та SO_x , які, в свою чергу, в повітрі при певних умовах можуть перетворюватися на кислоти та з опадами потрапляти у ґрунти і поверхневі води переважно у вигляді слабких розчинів сульфатної, нітратної, нітритної кислот. Зазвичай це явище може бути причиною корозії металу, підкислення ґрунтів, порушення життєдіяльності рослин. В результаті знижується продуктивність ґрунту, змінюється склад поживних речовин і ґрунтових мікроорганізмів. Фільтруючись у ґрунті, вода кислотних дощів виносить багато поживних речовин, таких як кальцій, магній, калій, натрій. А їхнє місце займають метали, які при високих концентраціях здатні порушувати біоценоз природних мікроорганізмів [4, 6], що негативно може позначитися на розвитку рослин. Не менш вагомим фактором впливу вугільних ТЕС на навколишнє середовище є викиди систем складування палива, його транспортування, пилоприготування та золовидалення [7]. При транспортуванні й складуванні, окрім пилового забруднення, можливе виділення продуктів окислювання палива. Для складування золошлакових відходів необхідно залучати великі території, які потребують значних експлуатаційних витрат. Відчужені техногенні ґрунти на довгий час є осередками нагромадження важких металів і підвищеної радіоактивності, які повітряним шляхом або ж з водою забруднюють біосферу. До того ж в результаті роботи ТЕС відбувається значне теплове забруднення водойм при скиданні в них теплої води, що супроводжується ланцюговими природними процесами: заростання водойм водоростями, порушенням кисневого балансу, що може становити загрозу екосистемі річок та озер.

У найбільш розвинених країнах Європи золошлаки є техногенною сировиною [7–11]. Електростанції здійснюють передпродажну підготовку, доводячи їх характеристики до вимог офіційних будівельних нормативних документів. Наприклад, у Нідерландах та Данії розроблена державна програма по освоєнню різних відходів, яка передбачає перехід на безвідходні технології всього комплексу промислових відходів. Проблема відходів ТЕС в Польщі вирішено підвищенням ціни на землі під золовідвали, тому вугільні електростанції мають доплачувати споживачам золи для зниження власних витрат на зберігання відходів. В Німеччині з 2005 року відмовилися від складування відходів, зберігання золи перед продажем здійснюється тільки в золосховищах. Тому вирішення проблеми екологічної безпеки техногенно навантажених територій, що

знаходяться під впливом ТЕС має бути одним із стратегічних завдань державної екологічної політики України.

Особливості формування екологічної небезпеки в районі розташування теплових електричних станцій на прикладі Бурштинської ТЕС (БуТЕС). Особливо шкідливими є конденсаційні електричні станції, що працюють на низькосортних видах палива [11, 12]. За даними останніх досліджень роботи ТЕС [13–15], за останні тридцять років доведено, що якість вугілля, яке надходить з українських родовищ, погіршилась: знизилась його калорійність з 20–21 МДж/кг, до 14–17 МДж/кг, зросла зольність та вологість. До числа таких станцій відноситься і Бурштинська ТЕС (БуТЕС). Бурштинська теплова електростанція збудована 1965–1969 рр., розташована біля міста Бурштин (Івано-Франківська область), проектна потужність її складає 2400 МВт. Згідно проекту, ТЕС була розрахована на спалювання кам'яного вугілля Львівсько-Волинського басейну з теплотворною здатністю від 5200 до 5600 ккал/кг, вмістом золи до 26% та вмістом сірки до 2%. Однак, з часом, електростанція почала спалювати вугілля інших вітчизняних паливних басейнів з теплотворною здатністю від 3500 до 4500 ккал/кг, вмістом золи до 40% та вмістом сірки до 6%. При спалюванні вугілля утворюються тверді відходи (зола і шлак) в середній кількості 100,7 тис. т. у рік. Паливний шлак і зола складаються на золошлаковідвали площею 204,6 га. Закритий золошлаковідвал №2 площею 69,8 га налічує п'ять карт і три – чотири дамби, висотою 10–12 м. Золошлаковідвал №3 має висоту 20–25 м, сформований із семи – восьми дамб і налічує чотири карти. Дамби мають ширину до 5 м, висоту відкосу 2,5–3,5 м. Складування золошлакових відходів здійснюється на діючому золовідвалі №3 площею 92,8 га, який розміщений в районі населених пунктів с.Поплавники, с.Демешківці, с.Слобідка (рис. 1).

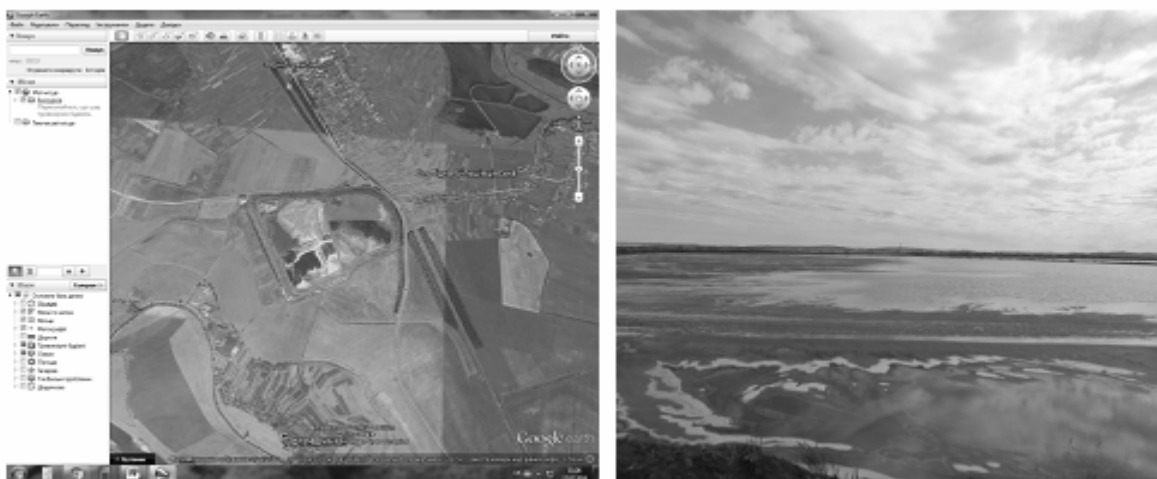


Рис. 1. Золовідвал №3 Бурштинської ТЕС

На електростанції діє гідравлічна система видалення шлаку, а також повітряна і гідравлічна система видалення відповідно сухої і мокрої золи. Забір води для виробничого і господарсько-питного водопостачання на ТЕС здійснюється з р. Гнила Липа (ліва притока р. Дністра) зі спорудженим на ній водосховищем-охолоджувачем. Система технічного водопостачання – оборотна, напірна з повторним використанням стічних вод. Система гідрозоловидалення оборотна без скиду, а система гідрошлаковидалення – оборотна зі скидом надлишкових нормативно-чистих стічних вод в р. Гнила Липа [16].

Однією з основних проблем щодо охорони й раціонального використання водних і земельних ресурсів Галицького району залишається забруднення ґрунтів, поверхневих та підземних вод через роботу вугільної теплоелектростанції. Золовідвали ТЕС збудовані як допоміжні споруди, майже без гідроізоляції та засобів усунення їх пиління, тому вони є об'єктами підвищеної небезпеки. Забруднення ґрунту навколо вугільних ТЕС відбувається шляхом рознесення пиловидної золи вітром, а також при інфільтрації її компонентів через

грунт у ґрунтовій воді. Зола завдяки своїм фізико-хімічним характеристикам є причиною утворення підвищеної запиленості повітря в зазначеному районі [16, 17]. З кожним роком кількість відходів в результаті спалювання вугілля на БуТЕС збільшується і накопичується. За статистичними даними представленими на рис. 2 у 2015 р накопичилося більш ніж 34 млн тон золи і 2 млн шлаку.

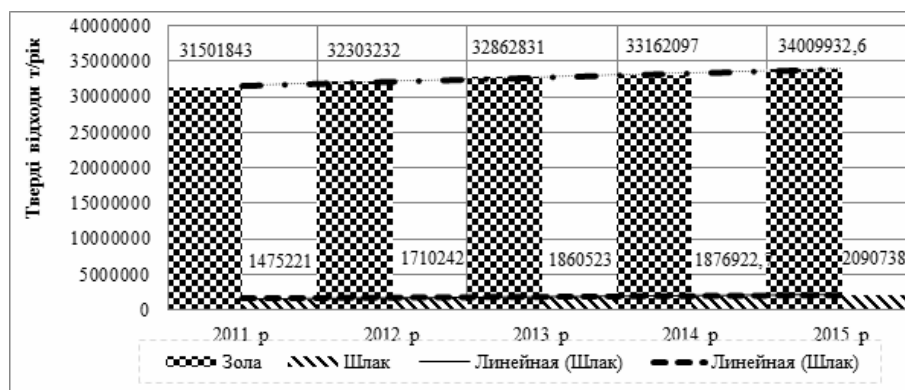


Рис. 2. Динаміка накопичення твердих відходів БуТЕС

В золовідвалах містяться значні концентрації кадмію, кобальту, ніколу, цинку та купруму, які також можуть чинити шкідливий вплив довкіллю (рис. 3).

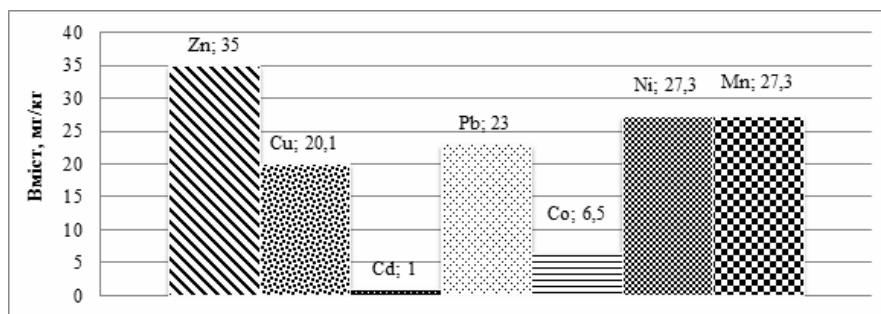


Рис. 3. Вміст важких металів у золошлакових відходах [17–19]

Зараз викликають особливу стурбованість екологічні ризики для територій навколо ТЕС, які пов'язані з проблемою переповненості золовідвалів. Одним із шляхів вирішення зазначеної проблеми є відчуження додаткових земель для зберігання нових відходів виробництва. Оскільки землі навколо БуТЕС є переважно сільськогосподарського призначення і мають пріоритет перед іншими категоріями, враховуючи землі, призначені для промислової забудови, то на даний час єдиним рішенням щодо складування нових відходів є підвищення висоти дамби, яка вже зараз експлуатується за межею проектного рівня. Однак, це також не вирішить проблему накопичення відходів, тому що є загроза паводків, які часто трапляються в цій місцевості та можуть призвести до руйнування дамби, змивання всіх шкідливих речовин з шламонакопичувача в річку Дністер та її забруднення.

Значної уваги потребують проблеми пов'язані з забрудненням довкілля внаслідок вітрової ерозії золовідвалів. Це явище характерне для ґрунту легкого механічного складу - піщаних і супіщаних, а також для сильно висушених пилоподібних із зруйнованою структурою. Пиління золовідвалів може відбуватися через недосконалість проектних рішень та технологій складування золошлаків, а також порушення умов їх експлуатації. Оцінку пиління золовідвалів виконують застосовуючи експериментальні, аналогові та розрахункові методи. Найбільш універсальною методикою, на думку авторів, є розрахунковий метод в основу якого покладена фізична модель процесу вітрової ерозії [20].

Причиною забруднення атмосферного повітря Галицького району є не тільки відходи виробництва (золовідвали), а також викиди димових газів, які містять підвищені концентрації SO_x , NO_x та пилу (рис.4, 5).

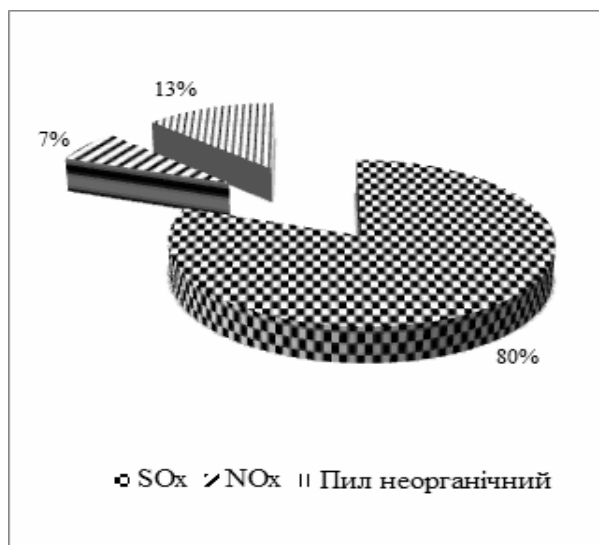


Рис. 4. Основні забруднюючі речовини атмосферного повітря, що перевищують норми ГДК

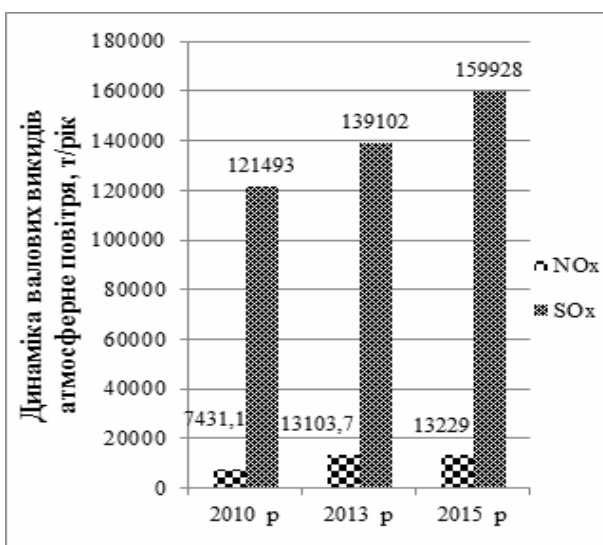


Рис. 5. Динаміка валових викидів у атмосферне повітря SO_x та NO_x , т/рік

Мета статті. Аналіз якісного та кількісного впливу твердих відходів вугільних ТЕС на довкілля та розробка заходів щодо підвищення екологічної безпеки забруднених територій (на прикладі Бурштинської ТЕС).

Виклад основного матеріалу. Оцінку забруднення територій, що знаходяться під впливом ТЕС виконано розрахунковим методом з використанням програм ЕОЛ та QGIS. На рис. 6 показано карти розсіювання поллютантів з золовідвалів БуТЕС шляхом вітрової ерозії. В основі розрахункових даних використовувалися екологічні звіти, що наведені в екологічних паспортах Івано-Франківської області за 2010, 2013 та 2015 роки, в роботах авторів [12, 16–19] та дані власних досліджень.

Вміст важких металів (табл. 1) у золошлакових відходах визначався атомно-абсорбційним методом. Узагальнення експериментальних даних та опублікованих матеріалів [21–23] щодо вмісту важких металів у золовідвалах показало: в золі містяться високі концентрації цинку, кадмію, кобальту, плюмбуму та купруму.

Таблиця 1

Забруднення важкими металами золошлакових відходів

Хімічний елемент	Вміст, мг/кг	
	діючого золошлаковідвалу	закритого золошлаковідвалу
Цинк	35,0	21,3
Купрум	20,1	17,8
Кадмій	1,0	1,0
Плюмбум	23,0	14,9
Кобальт	6,5	5,0
Нікол	27,3	22,0
Манган	27,3	27,8

З урахуванням показників забрудненості (див. табл. 1), золошлаки є небезпечними відходами (IV класу, мало небезпечні), які при складуванні на відкритих золосховищах створюють підвищену запиленість атмосферного повітря внаслідок свого фізичного складу (переважно дрібні фракції – більше 90% це пилоподібна фракція з розмірами

часточок менше 0,04 мм). Завдяки цьому сполуки, що містить зола, легко переносяться повітрям навколо золовідвалів і, таким чином, забруднюють ґрунт.

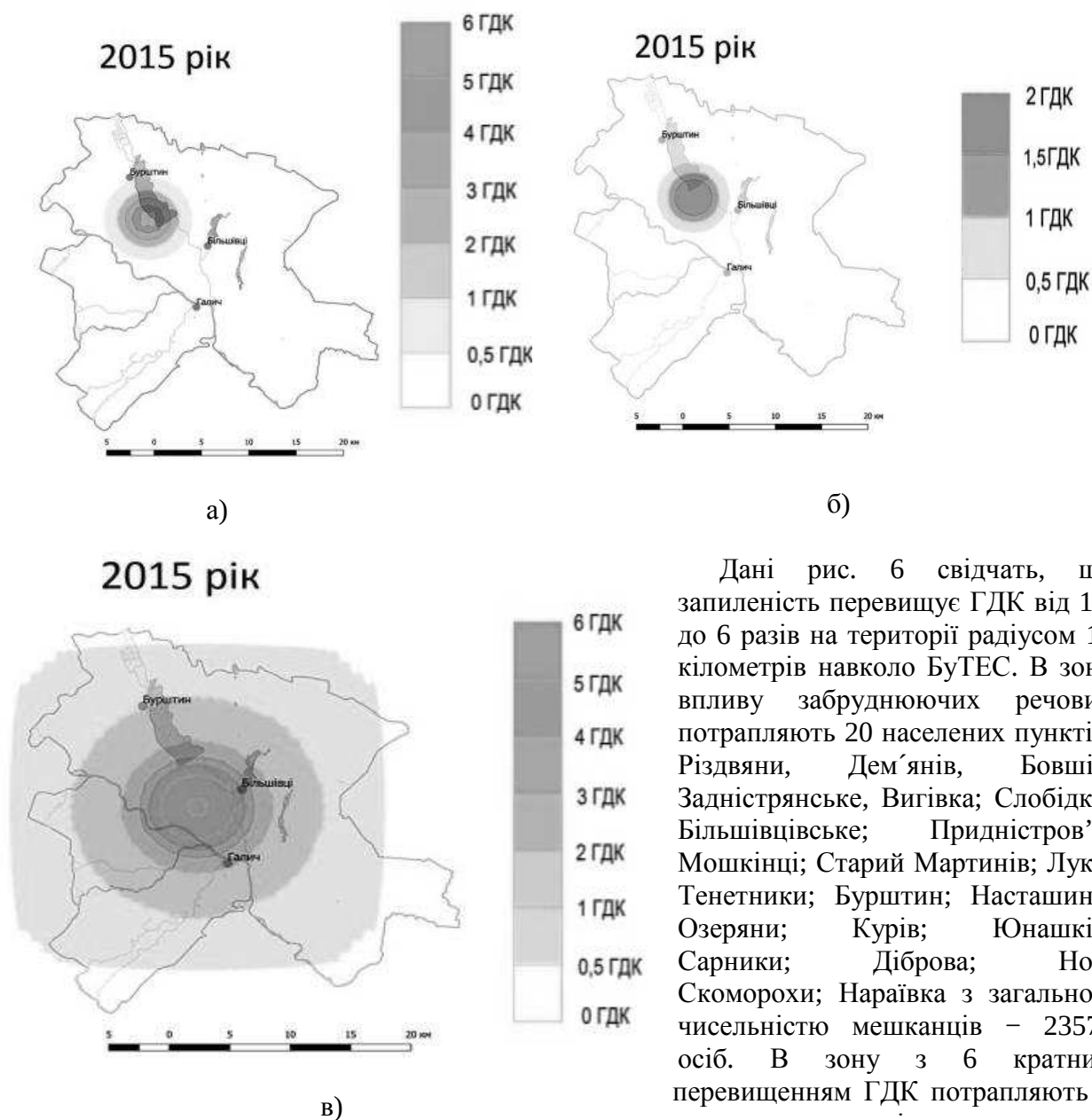


Рис. 6. Техногенне забруднення поліютантами із золовідвалів відповідно а) №1; б) № 3; в) №2

Дані рис. 6 свідчать, що запиленість перевищує ГДК від 1,5 до 6 разів на території радіусом 10 кілометрів навколо БУТЕС. В зону впливу забруднюючих речовин потрапляють 20 населених пунктів: Різдвяни, Дем'янів, Бовшів, Задністрянське, Вигівка; Слобідка-Більшівцівське; Придністров'я; Мошкінці; Старий Мартинів; Лука; Тенетники; Бурштин; Насташине; Озеряни; Курів; Юнашків; Сарники; Діброва; Нові Скоморохи; Нараївка з загальною чисельністю мешканців – 23574 осіб. В зону з 6 кратним перевищенням ГДК потрапляють 6 населених пунктів з загальною чисельністю мешканців близько 6000 осіб.

На рис. 7 наведено зміну концентрації неорганічного пилу, який містить SiO_2 (силіцій (IV) оксид). Вміст пилу суттєво збільшився, перевищуючи ГДК в 1,2 рази в 10-кілометровій зоні. Викиди пилу осідають і забруднюють ґрунтовий покрив у вигляді радіальних смуг на відстані до 20 км.

Забруднення середовища навколо золовідвалів відбувається шляхом рознесення пилоподібної золи повітряними масами, а також при інфільтрації її компонентів через ґрунт в ґрунтові води. Водонесний горизонт в алювіальних відкладах заплави річок Гнила Липа, Нараївка, Луква залягає на глибинах від 0,6–10 м і живлення його відбувається шляхом інфільтрації опадів. Зола володіє високим коефіцієнтом фільтрації, тому створюються сприятливі умови для забруднення ґрунтових вод важкими металами і мікроелементами, які входять до складу золовідвалів [23]. Забруднення поверхні з градієнтом показників від «високого» до «слабого» розповсюджується на відстань до 1500 м від золовідвалів. На екологічних картах можна спостерігати забруднені території на відстані до 2 км.

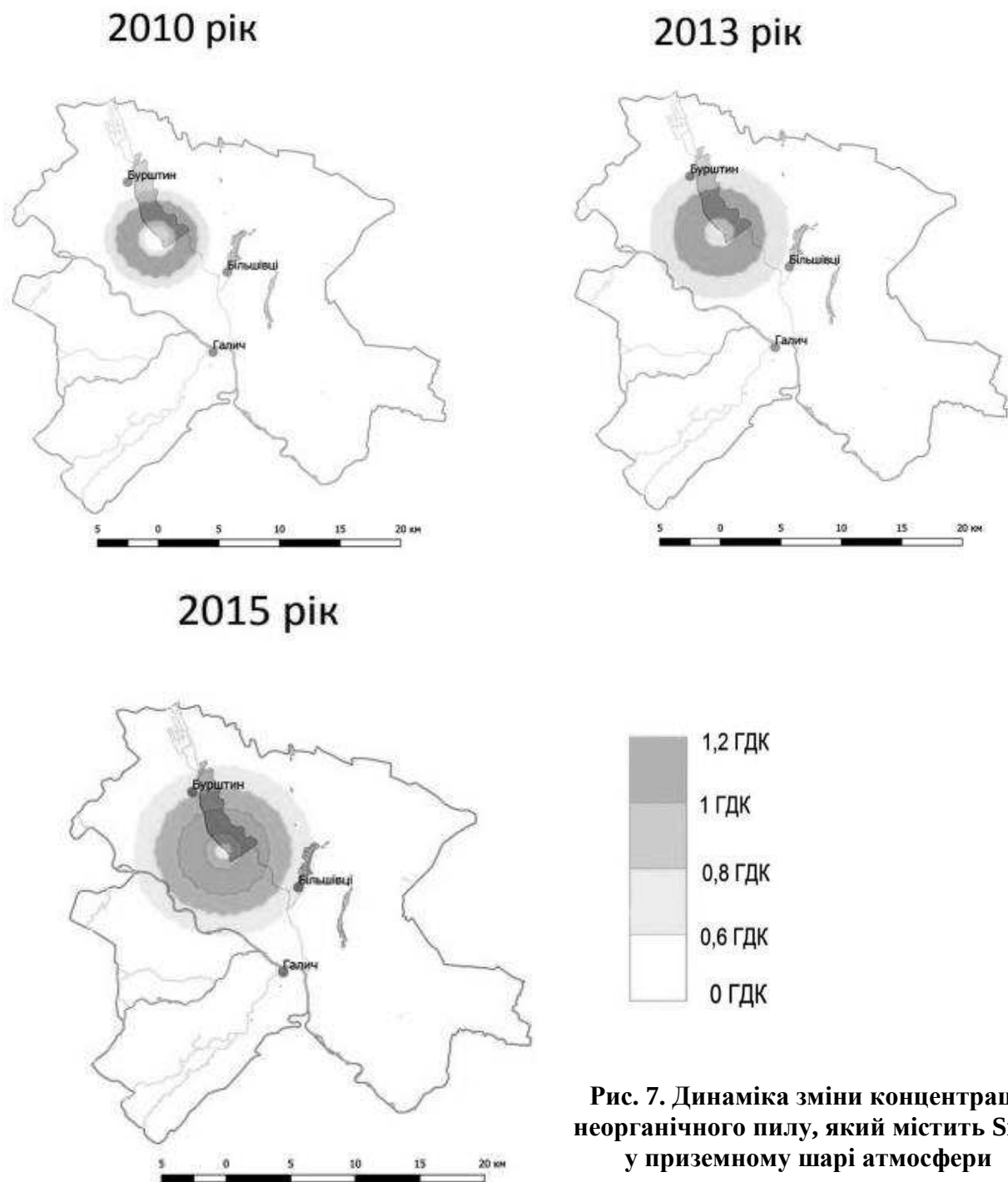


Рис. 7. Динаміка зміни концентрації неорганічного пилу, який містить SiO_2 у приземному шарі атмосфери

Оскільки зола Бурштинської теплової електричної станції за своїми характеристиками є пилюватою, неоднорідною, від слабовологої до водонасиченої, сірого кольору з вмістом частинок більше ніж 0,25 мм до 25%, то з урахуванням кліматичних умов та інтенсивності руху вітру в досліджуваному районі, переміщуватися з повітряними масами будуть майже 60% пилоподібних частинок. Вітрова ерозія золовідвалів визначалася з урахуванням наступних факторів:

- захищеності золовідвалу від вітрового впливу рельєфом прилеглої місцевості;
- конструкції золовідвалу – наявності і висоти огорожувальних конструкцій (дамби, захисні стінки, лісопосадки по периметру золовідвалу);
- експлуатаційних характеристик – рівня поверхні дамби, площі сухих пляжів в гідрозоловідвалах.

При оцінці пилових викидів золовідвалів БуТЕС враховано:

- дефляція частинок повітряним потоком за межі золовідвалу;
- сальтуючі частки повністю екрануються відстійним ставком.

Оцінка пиління проводилася з огляду на характерні для даного регіону метеорологічні умови. До того ж можливість аномальних атмосферних явищ, які можуть призвести до нерозрахованого здування дрібнозернистого і пилоподібного матеріалу не враховувалася. Результати розрахунків місцевого кліматичного фактора представлено в табл. 2. Результати розрахунку втрат зольного ґрунту наведені в табл. 3.

Таблиця 2

Кліматичний фактор м. Бурштин

Місяць											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-	-	3,47	4,2	10,1	22	21	12	8,9	5,74	1,5	-

Таблиця 3

Втрати зольного ґрунту

№ золовідвалу	Втрати, г/с	Втрати, т/рік
1	27,4	98,6
2	29,0	104,49
3	2,69	9,7

Необхідно уточнити, що при розрахунку маси пилюватих частинок золи, що виносяться в атмосферу з поверхні золовідвалів, не враховувалося зволоження золошлаків. Крім того, велика частина пилу знову осідає на поверхню секції, оскільки золовідвал займає велику площу. Отже, фактична маса пилюватих частинок, що виноситься з золовідвалу, нижче маси золи, що розрахована вище. Виходячи з отриманих даних можна надати наступну оцінку впливу золовідвалів на навколишнє середовище: золовідвали є джерелом забруднення водного та повітряного басейнів. Потенційно можлива маса пилу, яка розсіюється в атмосферу з поверхні золоосховища складає 212,8 т/рік, об'єм інфільтраційних вод через золовідвали – 620000 м³/рік.

Пропозиції та обговорення. Узагальнення досліджень проведених на територіях впливу БуТЕС показало, що основними забруднювачами атмосферного повітря, які перевищують ГДК є SO_x , NO_x та пил золи-виносу з труб та золовідвалів. Димові гази, через недосконалу систему пилоочищення, містять додаткові високодисперсні часточки золи та важкі метали, а також є причиною кислотних опадів та парникового ефекту. В теплий період року відбувається пиління золовідвалів, що є загрозою для здоров'я населення, яке проживає поблизу ТЕС, а також розповсюдження забруднювачів на поверхні ґрунтів, рослин, у поверхневі води. Покращення екологічної ситуації у Галицькому районі можливе при умові дотримання і виконання національного плану скорочення викидів основних забруднювальних речовин від великих установок спалювання. Забезпечити скорочення викидів можливо при встановленні ефективного газоочисного обладнання та будівництві нових генеруючих потужностей, що відповідають вимогам ЄС. На потужних ТЕС рекомендується провести реконструкцію усіх енергоблоків для того, щоб забезпечити залишкову запиленість відхідних газів на рівні не більше 50 мг/м³ (на даний момент на БуТЕС така реконструкція проведена частково). Встановлення сучасних електрофільтрів з ефективністю 99–99,875% надасть можливість зменшити емісію твердих часточок золи від 121,5– 15,2 г та валові викиди золи від 1041,3 до 130,3 т/рік відповідно до ступеня очистки (99 – 99,875 %) [24–26].

За результатами розрахунків, які отримані від заходів, що проводилися з метою усунення екологічних наслідків забруднення оточуючого середовища, ми прийшли до висновку про проведення рекультивації об'єкта.

Рекультивація золовідвалів можлива з використанням:

- природного рослинного ґрунту [27];

- мулу з водовідстійних споруд, систем освітлення води й каналізації [28].

Для створення на поверхні золовідвалу родючого горизонту можна застосовувати мул відходів станції водоочистки ТЕС. Додавання зневодненого активного мулу до золи дозволить отримати ґрунт з новими властивостями: збагачений живильними речовинами, стійкий до вітрової ерозії, здатний утримувати воду. В результаті зменшиться коефіцієнт фільтрації води, покращиться родючість субстрату і створяться сприятливі умови для активного росту рослин. Автори пропонують формувати гумусовий горизонт на поверхні золовідвалу із компонентів золи та мулу в співвідношенні 70 : 30 відповідно. Гумусовий шар суміші золи та мулу вкладають на прошарок висотою до 1 м, який виготовляють шляхом намивання глиняної пульпи або бентонітової глини на поверхню золовідвалу. Перевагами такого технічного рішення є утримання вологи в проміжку між шаром гумусового ґрунту та водоутримуючим прошарком глиняної пульпи або бентонітової глини, що сприятиме живленню вологою коріння рослин в посушливий період року та закріпленню рослин. Верхній шар гумусового горизонту засівають багаторічними трав'янистими культурами. Застосування мулу з золою забезпечить бурхливий розвиток густої дернини, крім того, буде попереджено пиління золовідвалу, зменшиться інфільтрація води, а також вирішиться проблема утилізації мулу. Проведення рекультивації відпрацьованих золовідвалів за запропонованою технологією припинить вітрову ерозію, що є причиною виносу 212,8 т/рік забруднювачів разом з золою.

Висновки. Екологізація теплової енергетики має полягати не тільки в модернізації існуючих енергоблоків відповідно до основного рамкового документа [29], а також в реалізації програм зі збільшення використання золи у будівельній індустрії. Результати досліджень територій, що знаходяться під впливом Бурштинської ТЕС свідчать про підвищені показники запиленості атмосферного повітря. На основі виконаних досліджень запропоновано наступні пропозиції щодо зменшення техногенного навантаження на довкілля вугільними тепловими електричними станціями на прикладі Бурштинської ТЕС:

- перший крок до зменшення техногенного навантаження – використання золи в технологіях виробництва нових пористих теплоізоляційних матеріалів. Аналізуючи хімічний і мінералогічний склад золи можна зробити висновок, що її слід розглядати не як відходи виробництва, а як вторинний ресурс – сировину для різних галузей промисловості. Золю можна використовувати як добавки й наповнювачі у виробництві широкого спектра будівельних матеріалів: цементу, бетонів, цегли, кераміки, в'язучих, вапна, а також сорбентів для очистки димових газів від забруднювачів, в першу чергу, від SO_2 , CaO та $\text{Ca}(\text{OH})_2$, алюмосилікатів кальцію Al-Si-Ca , в технологіях при укладанні в земляне полотно автомобільних доріг та в інших виробництвах. Практична реалізація запропонованих заходів дозволить відмовитися від гідротранспорту золи, знизити кількість забруднюючих викидів в атмосферу. Разом з тим буде ліквідовано процеси інфільтрації забрудненої води через золовідвали у ґрунтові води, зменшаться об'єми стічних вод та відповідно, покращиться стан водогосподарського комплексу Галицького району, скоротяться обсяги золовідвалів;

- проведення рекультивації золовідвалів за запропонованою технологією призведе до припинення вітрової ерозії;

- встановлення сучасного газоочисного обладнання, що має забезпечити викиди ТЕС відповідно до вимог директиви [29].

Отже, реалізація запропонованих заходів дозволить ліквідувати забруднення довкілля техногенними відходами: пиління золовідвалів – 212,8 т/рік; інфільтрацію води – 620000 м^3 /рік; забрудненого стоку – 126000 м^3 /рік, а також уникнути потреби у воді – 746000 м^3 /рік.

Література

1 Мальований М.С. Аналіз та систематизація існуючих методів оцінювання ступеня екологічної небезпеки / М.С. Мальований, В.М. Шмандій, О.В. Харламова, Л.І. Челядин, Г.В. Сакалова // Екологічна безпека. – 2013. – №1. – С.37-44.

- 2 Шмандій В.М. Аналіз забруднення атмосферного повітря шкідливими речовинами в промисловому регіоні / В. М. Шмандій, О. С. Бабяк, І. А. Ядвейчук // Сб. научных трудов «Защита окружающей среды от техногенного воздействия». – 1997. – С. 38-48.
- 3 Нечаєва Т.П. Фактори екологічного впливу електроенергетичних об'єктів на довкілля / Т.П. Нечаєва, С.В. Шульженко, Д.П. Сас, М.В. Парасюк // Екологічні аспекти енергетики та захист довкілля. – 2008. – № 18. – С. 54-60.
- 4 Коваленко Г.Д. Экологический риск нарушения состояния атмосферного воздуха при воздействии выбросов тепловых электростанций Украины / Г.Д. Коваленко, А.В. Пивень // Охорона навколишнього середовища промислових регіонів як умова сталого розвитку України: Зб. статей п'ятої Всеукр. наук.-практ. конф. 10–11 грудня 2009 р. – Запоріжжя, 2009. – С. 203-205.
- 5 Савицький О. Спадок ери динозаврів. Огляд теплової енергетики України // під ред. О. Місхун. – Київ: Національний екологічний центр України, 2014. – 32 с.
- 6 Гловин Н. М. Оцінка впливу рухомих форм важких металів Pb, Cu, Ni, Cd, Zn на якість підґрунтових вод за допомогою фізико-хімічних методів аналізу / Н. М. Гловин // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. – 2013. – №20. – С.33-36.
- 7 Сысоев Ю. М. Перспективы использования золошлаков [Текст] / Ю. М. Сысоев // Комплексное использование зол углей в народном хозяйстве Иркутск: Изд- во Иркут.ун-та, 1989. – С. 9–10.
- 8 Радовенчик, В. М. Тверді відходи: збір, переробка, складування [Текст]: навч. пос. / В. М. Радовенчик, М. Д. Гомеля. – К.: Кондор, 2010. – 552 с.
- 9 Малинина Л.А. Экологические и технологические аспекты развития строительства и производства строительных материалов в мире / Л. А. Малинина, Ю.С. Волков, Я.А. Рекитар // «БИНТИ №5. – М., 2001.
- 10 Анализ технологий и методов утилизации твёрдых продуктов десульфуризации и частиц золы. – Украинский финансово-промышленный концерн "УФПК" [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.ufpk.com.ua/files/p3/analiz.html>
- 11 Элинзон, М. П. Топливосодержащие отходы промышленности в производстве строительных материалов [Текст] / М. П. Элинзон, С. Г. Васильков. – М.: Стройиздат, 1980. – 223 с.
- 12 Зелена книга. Зменшення шкідливих викидів у тепловій електроенергетиці України через виконання вимог Європейського енергетичного співтовариства. – Київ: Міжнародний центр перспективних досліджень, 2011. – 43 с.
- 13 Мисак Й.С. Проблеми спалювання низькосортного палива в котельних установках / Й.С. Мисак, Т.Ю. Кравець, В.К. Матусевич, П.Й. Омеляновський // Науково-технічний збірник конференції “Сталий розвиток міст. Проблеми та перспективи енерго-, ресурсозбереження житлово-комунального господарства”. – 2003. – №49. – С.47-51.
- 14 Гелетій З. Економічна ефективність використання низькоякісного твердого палива західного регіону України для виробництва електроенергії / З. Гелетій, А. Росколуца, Й. Мисак, Т. Кравець // Вісник НУ “Львівська політехніка”: Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація. – 2002. – №460. – С. 123-127.
- 15 Орфанова М. Н. Утилизация отходов производства методом механической активации веществ / М.Н. Орфанова, Р. Ю. Гложик, М. М. Орфанова, Г. П. Хотулев // Труды VIII научно-практической конференции “Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов”. – 2000. – Том 2. – С. 346-348.
- 16 Портал ДТЕК. ДТЕК Бурштинська ТЕС: Технічна документація обладнання Бурштинської ТЕС. [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://www.portal.dtek.com/>
- 17 Екологічний паспорт Івано-Франківської області. – Івано-Франківськ: Департамент екології та природних ресурсів Івано-Франківської облдержадміністрації, 2015р. – 150 с.
- 18 Екологічний паспорт Івано-Франківської області. – Івано-Франківськ: Департамент екології та природних ресурсів Івано-Франківської облдержадміністрації, 2014р. – 124 с.
- 19 Екологічний паспорт Івано-Франківської області. – Івано-Франківськ: Департамент екології та природних ресурсів Івано-Франківської облдержадміністрації, 2010 р. – 126 с.
- 20 РД 153-34.0-02.106-98. Методика расчетной оценки ветровой эрозии и пыления золоотвала ТЭС. – Екатеринбург: ОАО «УралОРГРЭС», 1998.
- 21 Глуховський І. В. Сучасні технології знешкодження та утилізації небезпечних відходів виробництва / І. В. Глуховський, В. М. Шумейко, В. М. Овруцький. – К.: ДПІК Мінекобезпеки України, 1998. – 45 с.
- 22 Ковалів Л. М. Екологічні проблеми теплових електростанцій / Л. М. Ковалів // Науковий вісник НЛТУ України. – 2013. – Вип.23(18). – С.57-61.
- 23 Неспляк О.С. Екологічні особливості формування флори і рослинності золошлаковідвалів Бурштинської теплової електростанції та їх використання в рекультиватії: автореф. дисертації на здоб. наук. ступ. канд. біол. наук.: спец. 03.00.16 – екологія / О. С. Неспляк. – Дніпропетровськ, 2011. – 22 с.

24 Дем'ян М.М. Науково-технічний прогрес на Бурштинській ТЕС / М.М. Дем'ян // Енергетика та Електрифікація. – 2005. – №11. – С. 21-24.

25 Тутка В.В. Реконструкція і модернізація золоочисного обладнання Бурштинської ТЕС / В.В. Тутка, Ю.О. Михайлова // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористання. – 2012. – №2(6). – С.105-111.

26 Долгополов В.Н. Безотходная сероочистка дымовых газов угольных ТЭС до еuronorm с полной окупаемостью затрат / В.Н. Долгополов // Енергетика та електрифікація. – 2014. – №1. – С. 27-34.

27 Гурина И. В. Опыт фитомелиорации золоотвалов / И. В. Гурина // Мелиорация и водное хозяйство. – 2007. – № 4. – С. 68-69.

28 Шабаль В.Н. О подготовке золы ТЭС для утилизации / В.Н. Шабаль, В.В. Ермаков // Энергетик. – 2001. – №2. – С. 28-29.

29 Директива Європейського Парламенту та Ради 2001/80/ЄС від 23.10.2001 р. щодо обмеження викидів у повітря забруднювачів від установок довготривалого спалювання (ОВ L 309, 27.11.2001 С. 1).

© Г. В. Кошлак,
А. М. Павленко

*Надійшла до редакції 30 вересня 2017 р.
Рекомендував до друку
докт. техн. наук Я. М. Семчук*

УДК 631.427

В. В. Даценко¹, Н. Л. Хименко²

¹Харківський національний
автомобільно-дорожній університет,

²Харківський національний
аграрний університет ім. В.В. Докучаєва

ЕКТОКСИЧНІСТЬ МІДНО-ЦИНКОВОГО ГАЛЬВАНОШЛАМУ

У роботі експериментально змодельовані і проаналізовані результати екологічного дослідження відходів підприємств гальванічних виробництв. Розглянуто особливості міграції міді і цинку в різних типах ґрунтів. Представлені експериментальні дані щодо впливу важких металів, що містяться в техногенно-забруднених ґрунтах, на рослинні об'єкти в контрольованих умовах.

Ключові слова: мідь, цинк, гальваношлам, ґрунт, тест-рослина

In this paper, the results of the ecological study of galvanic production waste have been experimentally simulated and analyzed. The peculiarities of the copper and zinc migration in different types of soil are considered. Experimental data on the effect that heavy metals contained in technogenically contaminated soils have on plant objects under controlled conditions is presented.

Keywords: copper, zinc, galvanic waste, soil, biological test culture

Проблема і її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Однією з найбільш актуальних екологічних проблем промислових підприємств, що мають у своєму технологічному циклі гальванічні процеси, є проблема ліквідації гальванічних шламів (ГШ). Слід зазначити, що проблема поводження з промисловими відходами гальванічних виробництв в країні, в тому числі і їх утилізація, поки не вирішується на належному науково-технічному рівні. Утворені після знешкодження тверді гальванічні відходи направляються в шламонакопичувач [1]. Висока щільність розміщення відходів на промислових майданчиках і розташування на значних просторах міської території дозволяють оцінити їх як джерело високого техногенного впливу на компоненти навколишнього природного середовища (НПС) [1–3]. Тому вирішення проблеми екологічної небезпеки ГШ є комплексною: з одного боку, необхідні відомості про процеси

24 Дем'ян М.М. Науково-технічний прогрес на Бурштинській ТЕС / М.М. Дем'ян // Енергетика та Електрифікація. – 2005. – №11. – С. 21-24.

25 Тутка В.В. Реконструкція і модернізація золоочисного обладнання Бурштинської ТЕС / В.В. Тутка, Ю.О. Михайлова // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористання. – 2012. – №2(6). – С.105-111.

26 Долгополов В.Н. Безотходная сероочистка дымовых газов угольных ТЭС до еuronorm с полной окупаемостью затрат / В.Н. Долгополов // Енергетика та електрифікація. – 2014. – №1. – С. 27-34.

27 Гурина И. В. Опыт фитомелиорации золоотвалов / И. В. Гурина // Мелиорация и водное хозяйство. – 2007. – № 4. – С. 68-69.

28 Шабаль В.Н. О подготовке золы ТЭС для утилизации / В.Н. Шабаль, В.В. Ермаков // Энергетик. – 2001. – №2. – С. 28-29.

29 Директива Європейського Парламенту та Ради 2001/80/ЄС від 23.10.2001 р. щодо обмеження викидів у повітря забруднювачів від установок довготривалого спалювання (ОВ L 309, 27.11.2001 С. 1).

© Г. В. Кошлак,
А. М. Павленко

*Надійшла до редакції 30 вересня 2017 р.
Рекомендував до друку
докт. техн. наук Я. М. Семчук*

УДК 631.427

В. В. Даценко¹, Н. Л. Хименко²

¹Харківський національний
автомобільно-дорожній університет,

²Харківський національний
аграрний університет ім. В.В. Докучаєва

ЕКОТОКСИЧНІСТЬ МІДНО-ЦИНКОВОГО ГАЛЬВАНОШЛАМУ

У роботі експериментально змодельовані і проаналізовані результати екологічного дослідження відходів підприємств гальванічних виробництв. Розглянуто особливості міграції міді і цинку в різних типах ґрунтів. Представлені експериментальні дані щодо впливу важких металів, що містяться в техногенно-забруднених ґрунтах, на рослинні об'єкти в контрольованих умовах.

Ключові слова: мідь, цинк, гальваношлам, ґрунт, тест-рослина

In this paper, the results of the ecological study of galvanic production waste have been experimentally simulated and analyzed. The peculiarities of the copper and zinc migration in different types of soil are considered. Experimental data on the effect that heavy metals contained in technogenically contaminated soils have on plant objects under controlled conditions is presented.

Keywords: copper, zinc, galvanic waste, soil, biological test culture

Проблема і її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Однією з найбільш актуальних екологічних проблем промислових підприємств, що мають у своєму технологічному циклі гальванічні процеси, є проблема ліквідації гальванічних шламів (ГШ). Слід зазначити, що проблема поводження з промисловими відходами гальванічних виробництв в країні, в тому числі і їх утилізація, поки не вирішується на належному науково-технічному рівні. Утворені після знешкодження тверді гальванічні відходи направляються в шламонакопичувач [1]. Висока щільність розміщення відходів на промислових майданчиках і розташування на значних просторах міської території дозволяють оцінити їх як джерело високого техногенного впливу на компоненти навколишнього природного середовища (НПС) [1–3]. Тому вирішення проблеми екологічної небезпеки ГШ є комплексною: з одного боку, необхідні відомості про процеси

трансформації сполук важких металів (ВМ) з відходів в ґрунтах, з іншого боку, важливо дослідити динамічні особливості розчину забруднювачів, що проникають вглиб ґрунту.

Аналіз досліджень і публікацій. Міграція хімічних елементів, що містяться в складованих ГШ, відбувається в результаті фізико-хімічних процесів під впливом кліматичних і погодних факторів. При цьому забруднення можуть поширюватися з інфільтрацією атмосферних опадів через шар відходу до ґрунту ділянок, що примикають [4, 5]. У вітчизняній і зарубіжній літературі є публікації, присвячені вивченню проблеми впливу ГШ на НПС і здоров'я населення [3–11]. Однак, інформація що міститься в цих публікаціях не в повному обсязі відображає санітарно-гігієнічні та екологічні характеристики знешкоджених ГШ. Тому результати викладених в роботах досліджень неможливо використовувати для об'єктивної оцінки їх екологічної безпеки. При оцінці екологічних характеристик промислових відходів необхідно вивчати їх комплексний техногенний вплив на НПС: з одного боку, необхідні відомості про процеси міграції сполук з відходів до ґрунту, з іншого боку, важливо дослідити вплив забруднювачів, що проникають вглиб ґрунту, на об'єкти НПС [3–10].

Постановка мети і завдань дослідження. Визначати екотоксичність промислових відходів найбільш ефективно за допомогою біологічних методів аналізу, які дозволяють крім загального неспецифічного впливу на біотест виділити деякі специфічні реакції на окремі хімічні речовини або групи речовин [6, 7, 9]. Мета досліджень – визначити особливості міграції міді і цинку в ґрунтах при забрудненні ГШ і встановити їх вплив на показники активного росту і розвитку тест-рослин. Відповідно до поставленої мети були сформульовані наступні завдання: в лабораторних умовах експериментально змодельовати систему «ГШ–ґрунт», виявити особливості міграції міді і цинку в різних типах ґрунтів, дослідити вплив ВМ, що містяться в техногенно-забруднених ґрунтах, на рослинні об'єкти в контрольованих умовах.

Методи дослідження. Для вивчення міграції в ґрунті були обрані метали Cu і Zn, вибір яких був обґрунтований їх найбільшими концентраціями в промислових ГШ, а також високим класом небезпеки [2]. Для встановлення особливостей міграції обраних металів на моделях ґрунтових горизонтів використовували зразки ґрунтів – дерново-опідзолений зв'язнопіщаний, лучно-алювіальний супіщаний, лучно-чорноземний легкосуглинковий, чорнозему типового середньозмитий важкосуглинковий. У якості забруднювача в умовах лабораторного експерименту використовували модельний шлам, який було отримано реакцією нейтралізації сульфатного мідно-цинкового розчину вапном.

У лабораторних умовах для створення моделі ґрунтових шарів використовували пластикові труби с діаметром 35 см і висотою 100 см. Всього в лабораторних експериментах було задіяно 4 ґрунтові колонки. На верхній поверхні кожної ґрунтової колонки поміщали подрібнений модельний сульфатний мідно-цинковий шлам, який протягом 6 місяців промивали дистильованою водою в режимі, відповідному природному зволоженню. Для встановлення особливостей міграції Cu і Zn відбирали зразки ґрунтів в різних шарах: 0–5 см, 10–15 см, 20–25 см, 50–75 см і 100 см.

Для вивчення особливостей міграції міді і цинку та їх розподілу в ґрунтових шарах були розглянуті коефіцієнти накопичення (K_c) елементів, що показують у скільки разів збільшений вміст даного елемента в забрудненому ґрунті в порівнянні з незабрудненим [8]. Визначення ступеня токсичності зразків ґрунтів проводили за методикою біотестування [9, 10], тобто дослідження реакції тест-об'єктів на дію забруднюючих речовин, що дозволяє отримати інтегральну оцінку ступеня їх фітотоксичності. Як тест-об'єкти використовували насіння крес-салату і вівса, а в якості показника токсичності – схожість, енергію, дружність і тривалість проростання насіння в різних шарах забруднених ГШ ґрунтів. Для вивчення фітотоксичності мідно-цинкового ГШ був закладений лабораторний модельний дослід: повітряно-суху масу досліджуваних шарів ґрунтів вносили в пластикові судини висотою 15 см і діаметром 9 см, куди поміщали 15

штук насіння, попередньо замочених у воді протягом доби, на глибину 1 см. У процесі пророщування насіння підтримували постійну температуру +20°C.

Аналіз паростків насіння здійснювали на 30 добу після вирощування. Величину показника контрольних (L_0) і тих, що було досліджено ($L_{\text{досл}}$) насіння обчислювали як середнє арифметичне ($L_{\text{сеп}}$) з сукупності даних про довжину надземної частини або коренів паростків [10]

$$L_{\text{ср}} = \frac{\sum L_i}{n}, \quad (1)$$

де L_i – довжина максимальної надземної частини або кореня кожного паростка, см; $\sum$ – сума; n – загальна кількість паростків, що обуло залучено у дослід.

Для оцінки впливу забруднення ґрунту Cu і Zn на проростання насіння використовували такі показники: схожість, енергію, дружність і тривалість проростання [9, 10]. Під схожістю розуміли число насіння, що проросли за 7 діб, виражене у відсотках від загальної кількості насіння, взятих для пророщування. Під енергією проростання – кількість насіння, що проросли за перші 3 доби в процентах від загальної кількості насіння, взятих для пророщування. Для більш точної характеристики швидкості проростання проводили щоденний облік пророслого насіння і розраховували дружність і тривалість проростання. При цьому дружність проростання визначали за формулою

$$D = \frac{P}{A}, \quad (2)$$

де D – дружність проростання (середній відсоток насіння, що проросли за 1-у добу), %; P – загальна схожість, %; A – число діб проростання.

Тривалість проростання – за формулою

$$C = \frac{(a \cdot 1) + (b \cdot 2) + (d \cdot 3) + \dots}{(a + b + d + \dots)}, \quad (3)$$

де C – тривалість проростання (середня тривалість проростання одного насіння), діб; a – число насіння, що проросли за 1-у добу; b – число насіння, що проросли за 2-добу; d – що проросли за 3-ю добу і т.д.

Експериментальні результати та їх обговорення. Отримані експериментальні дані досліджень системи «ГШ-ґрунт» наведено у табл. 1.

Вивчення особливостей міграції міді і цинку з ГШ у розглянутих типах ґрунтів (див. табл. 1) показали, що техногенна міграція міді і цинку в системі «ГШ-ґрунт» пояснюється в першу чергу хімічним складом ГШ. Оскільки компонентний склад ГШ визначає характер взаємодії і міцність зв'язку елементів у ГШ з мінеральними і органічними компонентами ґрунтів.

Значне збільшення вмісту міді та цинку спостерігається по глибині в усіх шарах досліджуваних ґрунтів в умовах експерименту. Максимальне накопичення у поверхневому шарі (0-5 см) ($K_c(\text{Cu})=5,2-33,9$ и $K_c(\text{Zn})=73,5-657,1$) значно перевищує аналогічні показники у нижніх (50-100 см) ($K_c(\text{Cu})=1,0-2,6$ и $K_c(\text{Zn})=0,6-2,3$), що пов'язано в першу чергу з техногенним надходженням з шламу. За інтенсивністю міграції міді і цинку з ГШ і трансформації у поверхневий шар досліджувані ґрунти можна розташувати в ряд: чорнозем типовий середньозмитий важкосуглинковий < дерново-опідзолений зв'язнопіщаний < лучно-алювіальний супіщаний < лучно-чорноземний легкосуглинковий.

Вивчення зміни кислотності ґрунтів після забруднення їх ГШ (див. табл. 1) показало, що у всіх шарах досліджуваних ґрунтів відносно контрольних зразків відбувається зниження рівня рН у 1,1–1,3 рази. Керуючим фактором вимивання міді і цинку з ГШ є реакція середовища: у кислому і слабкокислому середовищі ГШ здатний створювати імпакти, ударні техногенні навантаження на ґрунт.

Таблиця 1

Основні показники досліджень системи «ГШ-грунт»

Показник	Контрольний зразок	Шар ґрунту, що забруднений ВМ, см				
		0–5	10–15	20–25	50–75	100
Дерново-опідзолений зв'язнопіщаний						
pH	5,30	4,40	4,25	4,15	4,15	4,45
C_{Cu}^{2+}	2,24	21,53	4,16	5,05	5,03	5,92
C_{Zn}^{2+}	6,40	497,88	278,32	248,19	90,40	14,90
ГДК _{г.відн.} (Cu)	0,75ГДК	7,18ГДК	1,36ГДК	1,68ГДК	1,68ГДК	1,97ГДК
ГДК _{г.відн.} (Zn)	0,28ГДК	21,65ГДК	12,1ГДК	10,8ГДК	3,93ГДК	0,65ГДК
Лучно-алювіальний супіщаний						
pH	7,60	6,40	6,10	5,90	6,20	6,35
C_{Cu}^{2+}	1,71	23,08	3,24	1,59	1,66	1,73
C_{Zn}^{2+}	1,82	770,32	537,08	181,71	16,97	3,51
ГДК _{г.відн.} (Cu)	0,57ГДК	7,7ГДК	1,1ГДК	0,5ГДК	0,6ГДК	0,6ГДК
ГДК _{г.відн.} (Zn)	0,08ГДК	33,5ГДК	23,35ГДК	7,9ГДК	0,74ГДК	0,15ГДК
Лучно-чорноземний легкосуглинковий						
pH	6,90	5,15	5,45	5,80	6,0	6,15
C_{Cu}^{2+}	2,68	90,88	5,53	5,07	3,28	5,43
C_{Zn}^{2+}	4,01	2634,82	750,95	58,13	6,89	6,07
ГДК _{г.відн.} (Cu)	0,89ГДК	3,29ГДК	1,84ГДК	1,69ГДК	1,09ГДК	1,81ГДК
ГДК _{г.відн.} (Zn)	0,17ГДК	114,6ГДК	32,65ГДК	2,53ГДК	0,3ГДК	0,26ГДК
Чорнозем типовий середньозмитий важкосуглинковий						
pH	8,70	7,65	8,10	8,10	8,25	8,30
C_{Cu}^{2+}	21,30	109,70	16,61	17,25	14,62	21,24
C_{Zn}^{2+}	71,77	5274,88	173,22	36,66	55,07	39,88
ГДК _{г.відн.} (Cu)	7,1ГДК	36,57ГДК	5,54ГДК	5,75ГДК	4,87ГДК	7,08ГДК
ГДК _{г.відн.} (Zn)	3,120ГДК	229,3ГДК	7,53ГДК	1,59ГДК	2,39ГДК	1,73ГДК

*ГДК_{г.відн.} – розраховані як співвідношення концентрацій Cu^{2+} і Zn^{2+} у забруднених ґрунтах до їх гранично допустимої концентрації у ґрунті (ГДК_{г.}(Cu) = 3 мг/кг; ГДК_{г.}(Zn) = 23 мг/кг) відповідно.

Динаміка зміни рівня кислотності в досліджуваних ґрунтах з глибиною обумовлена внутрішньогрунтовими процесами (хімічними реакціями, що супроводжують вилуговування шламу і трансформацією речовин у ґрунт): pH у поверхневому шарі (0–5 см) на 0,2–0,5 одиниці нижча, ніж в підповерхневому (10–15 см). Найбільше накопичення металів спостерігається в лучно-чорноземному середньо суглинистому ґрунті ($K_d(Cu)=34$ і $K_d(Zn)=657$), де середовище ґрунту має найбільш інтенсивне зменшення pH з 7,0 до 5,0. Відзначено, що в досліджуваних ґрунтах з підвищенням pH рухливість міді і цинку знижується: рухливість Cu в кислих ґрунтах вища, ніж в нейтральних або лужних, а Zn має максимальну рухливість в ґрунтах, реакція яких нейтральна або наближається до неї. Найменша міграційна здатність міді і цинку відзначена в чорноземі типовому середньозмитому важкосуглинковому, слаболужні умови якого підсилюють перехід Cu і Zn в нерухомий стан і сприяють закріпленню ґрунтовими частинками їх сполук.

Для екологічної та санітарно-гігієнічної оцінки забруднення досліджуваних ґрунтів міддю і цинком після забруднення мідно-цинковим шламом були отримані порівняльні дані про вміст міді і цинку в тестованих ґрунтах (C, мг/кг) з їх гранично допустимими концентраціями в ґрунтах (ГДК_{г.}(Cu)=3 мг/кг; ГДК_{г.}(Zn)=23 мг/кг) (див. табл. 1). Досліджувані ґрунти після забруднення мідно-цинковим шламом незалежно від глибини шару характеризуються низьким рівнем забруднення по Cu: у дерново-опідзоленому зв'язнопіщаному 7,18–1,36ГДК; у лучно-алювіальному супіщаному 7,7–0,5ГДК; у лучно-чорноземному легкосуглинковому 3,29–0,19ГДК; у чорноземі типовому середньозмитому важкосуглинковому 36,57–4,87ГДК. За цинком характер забруднення визначається типом

грунту і у важких гумусованих ґрунтах ступінь забруднення зі збільшенням глибини змінюється від дуже високого (у чорноземі типовому середньозмитому важкосуглинковому 229,3ГДК) у верхньому шарі, що зазнає техногенне навантаження, до допустимого рівня у нижніх (у лучно-чорноземному легкосуглинковому 0,26ГДК).

Проведений за рівнянням (1) порівняльний морфологічний аналіз дозволив встановити наявність залежності між активністю росту і розвитку тест-рослин і вмістом ВМ у ґрунті, що перевищують їх ГДК_г (табл. 2). Зміни довжини кореневої та надземної частин тест-рослин в залежності від перевищення показника ГДК_{г,відн.} металів-токсикантів у ґрунтах (крім дерново-опідзоленого зв'язнопіщаного для крес-салату) вказують на відсутність несприятливої фітотоксичної дії: $L_{\text{досл}}$ надземної частини і кореневої системи майже однакові, а в деяких шарах навіть перевищує показники L_0 в контрольному зразку.

Таблиця 2

Основні ростові показники тест-рослин

Показники проростання тест-рослин, %	Шар ґрунту, що забруднений ВМ, см											
	0	0–5	10–15	20–25	50–75	100	0	0–5	10–15	20–25	50–75	100
	салат						овес					
Дерново-опідзолений зв'язнопіщаний												
Енергія	100,0	–	–	9	9	2,3	53,3	71,1	84,4	71,1	77,8	57,8
Схожість	73,0	–	–	9	9	16	66,7	100,0	100,0	77,78	93,3	86,7
Дружність	25,0	–	–	1,3	1,3	1,8	13,3	16,7	20,0	20,0	25,0	12,5
Тривалість	16,0	–	–	0,3	1,2	0,7	2,8	4,3	3,7	3,1	3,8	5,9
Лучно-алювіальний супіщаний												
Енергія	7,0	9,0	24,0	27,0	27,0	11,0	60,0	71,1	100,0	88,9	88,9	86,7
Схожість	7,0	11,0	28,0	25,0	22,0	22,0	66,67	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Дружність	1,8	0,5	0,15	0,2,0	1,5,0	1,9	11,11	14,3	33,3	25,0	20,0	13,3
Тривалість	1,0	1,2	3,4	2,8	2,9,0	4,4	4,21	4,1	2,7	3,2	3,8	2,7
Лучно-чорноземний легкосуглинковий												
Енергія	13,0	–	–	31	42,0	47,0	100,0	16,7	83,3	80,0	73,3	77,8
Схожість	13,0	–	–	22	27,0	42,0	100,0	70,0	86,7	86,7	93,3	100,0
Дружність	1,3	–	–	3,1	4,2	4,7	33,33	7,3	21,7	14,4	18,7	16,67
Тривалість	1,2	–	–	1,9	5,2	2,4	2,48	5,6	3,1	3,0	3,6	3,17
Чорнозем типовий середньозмитий важкосуглинковий												
Енергія	27	24,0	27,0	37,0	40,0	49,0	13,3	73,3	73,32	66,7	56,7	60,0
Схожість	27,0	40,0	20,0	27,0	30,0	45,0	33,3	100,0	100,0	86,7	73,3	93,33
Дружність	6,8	3,4	6,8	4,0	5,7	7,0	20,0	25,0	25,0	21,7	16,0	13,33
Тривалість	4,0	3,2	2,2	0,9	4,0	6,0	7,0	4,0	3,4	3,5	3,9	5,20

Відзначено (див. табл. 2), що ріст і розвиток тест-рослин не тільки мають істотну залежність від типу забрудненого ґрунту, а й визначаються фізіологією рослин. Так для ґрунту дерново-опідзоленого зв'язнопіщаного характерно достовірне пригнічення розвитку салату, де насіння зійшли тільки в нижніх шарах ґрунту (20–25, 50–75, 100 см), а на 20 добу загинули всі паростки. Для вівса ж спостерігається достовірна тенденція стимуляції росту в аналогічних умовах цього ж ґрунту. Так, в нижньому шарі (100 см) навіть відзначено перевищення довжини паростків в 1,2 рази і кореневої системи в 3,3 рази в порівнянні з контрольними зразками. Це можна пояснити тим, що крес-салат більш чутливий до присутності іонів ВМ у ґрунтах, ніж овес. Інгібуюча дія іонів-токсикантів на крес-салат не знижується з часом, як у вівса. В результаті цього, за рахунок виснаження власних ресурсів надійності, рослини салату стають ослабленими і гинуть.

Серед показників проростання насіння в умовах модельного забруднення ґрунтів ТМ найбільш інформативними виявилися ростові показники [9, 10] – схожість, енергія, дружність (формула (2)) і тривалість проростання (формула (3)) (див. табл. 2).

Аналіз показників проростання насіння в умовах модельного забруднення ґрунтів ВМ показав, що до 7 діб стимулюючий ефект міді і цинку на ріст досліджуваних тест-рослин в середньому проявився сильніше, а токсична дія – слабше. При збільшенні терміну зростання до 30 діб характер розвитку рослин змінюється. Для крес-салату за цей період часу в середньому достовірно проявляється пригнічуючий ефект дії металів. Для рослин вівса цей вплив в основному проявляється в стимулюванні зростання. Такі зміни в розвитку рослин в ході вирощування, можна пояснити тільки типом забруднених ґрунтів і фізіологією самих рослин, а й впливом ВМ на досліджувані тест-об'єкти. Оскільки відомо [11], що Zn і Cu належать до групи металів середнього ступеня поглинання рослинами, то на початкових термінах розвитку насіння тест-культур мали достатній потенціал поживних речовин для придушення негативного впливу ВМ. Однак на більш пізніх термінах розвитку руйнівна дія металів-токсикантів посилюється.

Аналіз даних енергії проростання (див. табл. 2) для насіння досліджуваних тест-рослин показують досить високі показники у всіх шарах забруднених ТМ ґрунтів. У порівнянні з контрольними зразками, перевищення показника енергії проростання для насіння вівса відзначено практично в усіх тестованих ґрунтах (крім лучно-чорноземного легкосуглинкового). Для крес-салату аналогічне перевищення відмічено у нижніх шарах лучно-алювіального супіщаного і чорнозему типового середньозмитого важкосуглинкового, де кратність перевищення показника енергії проростання, відповідно, становить 1,3–3,4 і 1,4–1,8.

Слід зазначити, що енергія проростання у насіння вівса значно вища, ніж у насіння крес-салату. Так, у дерново-опідзоленому зв'язнопіщаному ґрунті кратність такого перевищення становить 9–23, у лучно-алювіальному супіщаному – 4–6, у лучно-чорноземному легкосуглинковому і у чорноземі типовому середньозмитому важкосуглинковому – 2. Це може бути пов'язано з більш тривалим періодом проростання насіння крес-салату порівняно з насінням вівса.

Показник схожості насіння (див. табл. 2) практично у всіх варіантах тестованих ґрунтів також досить високий для обох тест-рослин. Відзначено наявність помітної залежності між вмістом ВМ у ґрунті, що перевищують ГДК_г, активністю росту і розвитком, енергією проростання і схожістю насіння тест-рослин. Так, при зменшенні показника перевищення ВМ в шарах тестованих ґрунтів (див. табл. 1) проявляється стимулювання надземної і кореневої систем проростків досліджених тест-культур при підвищенні їх енергії проростання і схожості (див. табл. 2). Тобто, зменшення концентрації металів призводить до зниження токсичної дії металів на тест-рослини. Це особливо помітно в нижніх шарах ґрунтів (20–25, 50–75, 100 см), де вміст ВМ знижується, а схожість збільшується в порівнянні з контрольними зразками (крім дерново-опідзоленого для крес-салату). Таким чином, можна відзначити, що тестовані ґрунти не є фітотоксичними, а певне перевищення в них показника ГДК_{г.відн.} для міді і цинку в сприяє стимулюванню процесів росту і розвитку рослин.

У період спостережень за ростом і розвитком тест-рослин при вирощуванні на забруднених ВМ ґрунтах встановлено, що дружність і тривалість проростання (див. табл. 2) насіння цих рослин мають низькі показники. Для насіння вівса показник дружності проростання в порівнянні з контрольними зразками має достовірно високі значення практично в усіх ґрунтах, крім лучно-чорноземного легкосуглинкового ґрунту. А для насіння крес-салату, навпаки, достовірне перевищення у 2–4 рази спостерігається лише у лучно-чорноземному легкосуглинковому ґрунті.

Тривалість проростання для насіння крес-салату в 2–4 рази вище у лучних і чорноземних ґрунтах в порівнянні з контрольними зразками. Для насіння вівса аналогічне перевищення відмічено у дерново-опідзоленому зв'язнопіщаному ґрунті у 2 рази і лучно-чорноземному легкосуглинковому ґрунті у 1,3 рази.

Зазначені вище відмінності в розвитку і зростанні досліджуваних тест-рослин (див. табл. 2), вочевидь, залежать від фізіолого-біохімічних процесів, що протікають в самих

рослинах. Схоже, що більш високі показники схожості, енергії, дружності і тривалості проростання у насіння вівса в порівнянні з аналогічними показниками у крес-салату, пояснюються більш високою збалансованістю в них запасів поживних речовин і більш високим рівнем фітогормональних процесів. Крім того встановлено, що рослини вівса виявилися менш чутливими до токсичної дії міді та цинку, що можливо визнено їх більш високою здатністю переводити сполуки важких металів у фізіологічно неактивний стан.

Під час проведення досліджень встановлено зв'язок між ростовими показниками (схожість, енергія, дружність і тривалість проростання) (див. табл. 2) досліджуваних тест-рослин і забрудненими ВМ ґрунтами (див. табл. 1). Однак ця залежність простежується тільки в шарах одного окремо взятого ґрунту, і не завжди має однозначне трактування для різних типів ґрунтів. Так, наприклад, у верхніх шарах (5, 10-15 см) ґрунту чорнозему типового середньозмитого важкосуглинкового з високим вмістом Cu і Zn (див. табл. 1) показники схожості, енергії, дружності і тривалості проростання (див. табл. 2) значно перевищують аналогічні показники в інших типах ґрунтів, де перевищення ГДК_{ґ.відн.} ВМ нижче. Пояснення може бути пов'язано з фізико-хімічними властивостями самого ґрунту. Глинисті чорноземні ґрунти за своїми характеристиками належать до ґрунтів, які містять великий запас поживних речовин і мають високі адсорбційні властивості, що здатні міцно зв'язувати ВМ і, відповідно, оберігати від забруднення рослинну продукцію [5].

Проведений порівняльний аналіз показників проростання, росту і розвитку насіння тест-рослин зі значеннями ГДК_{ґ.відн.} міді і цинку в усіх тестованих ґрунтах показав, що найчастіше зменшення концентрації металів в шарах ґрунтів призводить до зниження токсичної дії металів. Однак, не завжди ця залежність однозначна. У деяких варіантах дослідів, як було зазначено вище, підвищення показника ГДК_{ґ.відн.} міді і цинку в ґрунтах призводить до поліпшення росту рослин. Розбіжності результатів, можливо, пояснюється дозою забруднення ґрунтів ВМ. Відомо, що в залежності від концентрації металу, валентності його іона, розчинності і тривалості впливу, ВМ в малих дозах сприяють зростанню і розвитку рослин (так як є для них необхідним мікроелементом), проте їх високі концентрації здатні пригнічувати ріст рослин, порушуючи їх життєво важливі функції [11]. Отже, проведені нами дослідження дозволяють припустити, що середні значення показників ГДК_{ґ.відн.} для міді і цинку в ґрунтах призводять до ефекту стимуляції росту насіння рослин за рахунок поліпшення режиму живлення.

Так само зазначено, що дія міді і цинку має різну спрямованість на активність розвитку тест-рослини. За даними експерименту, в пробах тестованих ґрунтів, де ГДК_{ґ.відн.}(Cu) перевищує ГДК_{ґ.відн.}(Zn) (див. табл. 1), спостерігається стимуляція зростання і розвитку тест-рослин. Так, однозначно високі показники проростання тест-культури відзначені в чорноземних суглинкових ґрунтах, де кратність перевищення ГДК_{ґ.відн.}(Cu) над ГДК_{ґ.відн.}(Zn) складає 2-7. Однак така залежність характерна не для всіх тест-рослин і простежується не у всіх шарах ґрунтів. Неоднозначність кореляції між вмістом міді і цинку в ґрунті, що перевищують їх ГДК_ґ і активністю росту тест-рослин, можливо, пов'язана в комплексній дії міді та цинку. При спільному впливі цих двох металів в несприятливих для рослин дозах може відбуватися як посилення, так і ослаблення їх токсичного ефекту. Синергитичну дію цинку і міді визначає розташуванням цих елементів у сусідніх групах періодичної системи. Причому, як стверджують автори робіт [11], особливо високу фітоксичність має мідь, посилення токсичного ефекту якої спостерігається в присутності цинку.

Висновки. У лабораторних умовах при дослідженні особливостей міграції міді і цинку в різних типах ґрунтів при забрудненні ГШ і вивченні їх впливу на показники активного росту і розвитку тест-рослин експериментально встановлено:

– техногенна міграція міді і цинку в системі «ГШ-ґрунт» характеризується специфікою ґрунтів і пояснюється в першу чергу хімічним складом ГШ. Значне збільшення вмісту міді та цинку спостерігається по глибині в усіх шарах досліджуваних ґрунтів в умовах експерименту;

– за інтенсивністю міграції міді і цинку з шламу і транслокації у верхній шар ґрунту досліджувані ґрунти можна розташувати в ряд: чорнозем типовий середньозмитий важкосуглинковий < дерново-опідзолений зв'язнопіщаний < лучно-алювіальний супіщаний < лучно-чорноземний легкосуглинковий;

– рухливість важких металів залежить від кислотності ґрунтів: рухливість Cu в кислих ґрунтах вища, ніж в нейтральних або лужних, а Zn має максимальну рухливість в ґрунтах, реакція яких нейтральна або наближається до неї. Найменша міграційна здатність міді і цинку відзначена у чорноземі типовому середньозмитому важкосуглинковому, слаболужні умови якого підсилюють перехід Cu і Zn у нерухомий стан і сприяють закріпленню ґрунтовими частинками їх сполук;

– по Cu усі шари досліджуваних ґрунтів мають низький рівень забруднення. За цинком характер забруднення визначається типом ґрунту і в важких гумусованих ґрунтах ступінь забруднення зі збільшенням глибини змінюється від дуже високого у верхньому шарі, що зазнає техногенного навантаження, до допустимого рівня в нижніх;

– ґрунти, забруднені міддю і цинком, надають комплексний фітотоксичний ефект. Спільний вплив міді і цинку проявляється як у пригніченні так і стимулюванні ростових процесів досліджуваних тест-рослин – крес-салату і вівса і визначається, перш за все, рівнем і характером забруднення, властивостями ґрунту і біологічної специфікою самої тест-культури;

– для ґрунту дерново-опідзоленого зв'язнопіщаного характерно пригнічення розвитку тест-рослини, а для чорнозему типового середньозмитого важкосуглинкового, практично у всіх шарах ґрунтів відзначено достовірне стимулювання;

– насіння вівса мають більш високі показники активності росту і розвитку в порівнянні з аналогічними показниками у крес-салату. Це пояснюється тим, що насіння вівса мають більш високу збалансованість поживних речовин і більш високий рівень фітогормональних процесів. Також рослини вівса виявилися менш чутливими до токсичної дії міді та цинку, що визначається їх більш високою здатністю переводити сполуки важких металів у фізіологічно неактивний стан.

Література

- 1 Касимов А. М. Проблемы образования и накопления промышленных отходов в Украине / А. М. Касимов, Е. Е. Решта // Экология и промышленность. – 2011. – №1. – С. 65-69.
- 2 Даценко В. В. Определение токсических свойств ингредиентов промышленных гальванических отходов / В. В. Даценко // Экология и промышленность. – 2012. – № 2. – С. 102-106.
- 3 Пересадько Г. О. Маркетингові дослідження екологічних інновацій на ринку поводження з відходами [Текст] / Г. О. Пересадько, М. Г. Громико, С. М. Лукаш // Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої пам'яті проф. Балацького О.Ф. «Економічні проблеми сталого розвитку», м. Суми, 6-8 травня 2014 р.: у 2-х т. / За заг. ред.: О. В. Прокопенко, О. В. Люльова. – Суми: СумДУ, 2014. – Т.1. – С. 211-212.
- 4 Голец Н. Ю. Дослідження властивостей про фільтраційного екрана полігону відходів / Н. Ю. Голец, М. С. Мальований, Ю. О. Малик // Вісник Національного авіаційного університету: наук. журнал. – К.: Вид-во НАУ. – 2009. – № 3. – С. 123-128.
- 5 Жовинский Э. Я., Кураева И. В. Геохимия тяжелых металлов Украины. – К.: Наук. думка, 2002. – 213 с.
- 6 Ольхович О. П., Мусієнко М. М. Фітоіндикація та фітомоніторинг. – Київ: Фітосоціоцентр, 2005 – 64 с.
- 7 Подлипский И. И. Аккумулятивная биоиндикация в инженерно-экологических изысканиях / И.И. Подлипский // Инженерные изыскания. – №1. – 2014, – С. 54-63
- 8 Даценко В. В. Миграция тяжелых металлов из гальваношламов в почву / В. В. Даценко, Ю. В. Сващенко // Экономика в промышленности. – 2015. – № 2. – С. 35-41.
- 9 Datsenko V. V. Evaluation of heavy metal complex phytotoxicity / V. V. Datsenko, N.L. Khimenko / Eurasian J Soil Sci. – 2016. – 5 (3). – P. 249-254.
- 10 Методика выполнения измерений всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно-загрязненных почв (Капелькина Л.П., Бардина Т.В, Бакина Л.Г., Чугунова М.В., Герасимов А.О., Маячкина Н.В., Галдянец А.А.) СПб: Изд-во «Фора-принт», 2009. 19 с. (М-П-2006 ФР.1.39.2006.02264).

11 Гладков Е. А. Оценка комплексной фитотоксичности тяжелых металлов и определение ориентировочно допустимых концентраций для цинка и меди / Е. А. Гладков // Сельскохозяйственная биология. – 2010 – № 6. – С. 94-99.

© В. В. Даценко,
Н. Л. Хименко

*Надійшла до редакції 17 листопада 2017 р.
Рекомендував до друку
докт. техн. наук Я. М. Семчук*

УДК 502.17: 620.9(477.73)

*І. В. Ремешевська¹,
Н. В. Гурець¹, О. А. Омельчук²*

*¹ Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова,
² Міськвиконком Миколаївської міської ради*

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ЕНЕРГОГЕНЕРУЮЧОГО КОМПЛЕКСУ НА БІОМАСІ ТОВ «АГРОПРОМИСЛОВА КОМПАНІЯ «EUGROIL»

Описано сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні. Наведено технологічну характеристику енергогенеруючого комплексу на біомасі ТОВ «АПК «EUGroil». Проведено оцінку впливу експлуатаційної діяльності енергогенеруючого комплексу на довкілля. Представлено результати дослідження еколого-економічної ефективності його впровадження та запропоновано перспективи подальшого розвитку виробництва.

Ключові слова: альтернативні джерела енергії, біоенергетика, біомаса, енергогенеруючий комплекс, «зелений» тариф.

The current state and prospects of bioenergy development in Ukraine are described. The energy-technological characteristics of complex on biomass of LLC «AIC «EUGroil» are given. The operational activities impact of the energy complex on the environment is assessed. The analysis of environmental and economic effectiveness of its implementation are presented. Prospects for further production development are proposed.

Keywords: alternative energy sources; bioenergy; biomass; energy complex; “green” tariff.

Постановка проблеми. Останнім часом у багатьох країнах світу на перший план виходить проблема ресурсозабезпеченості енергетичного господарства. З одного боку, сумарні запаси паливних ресурсів досить великі, до того ж щороку стають відомими нові поклади викопного палива. Однак, спостерігається відносна ресурсна обмеженість, зумовлена можливістю швидкого вичерпання найбільш доступних родовищ, і перехід до розробки складніших, що спричинює подорожчання енергоносіїв і робить використання більшої частини паливних ресурсів нерентабельним. Вирішення вище зазначеної проблеми багато вчених вбачають у розвитку альтернативної енергетики й поширенні відновлюваних джерел енергії (ВДЕ).

На сьогодні, відновлювана енергетика є одним з секторів енергетики, що динамічно розвивається у світі. Частка ВДЕ в загальному постачанні первинної енергії у світі становить близько 13 %, у тому числі біомаси – 10 %, що відповідає більше 1300 млн т н. е./рік. Європейський Союз успішно рухається в напрямі досягнення мети 2020 р. у відновлюваній енергетиці – 20% енергії з ВДЕ у валовому кінцевому енергоспоживанні. За останні 10 років цей показник зріс з 8 % до 14 % [2].

Останнім часом обсяги споживання біомаси для виробництва енергії в Європейському Союзі складають більше 120 млн т н. е. / рік, а до 2020 року валове

11 Гладков Е. А. Оценка комплексной фитотоксичности тяжелых металлов и определение ориентировочно допустимых концентраций для цинка и меди / Е. А. Гладков // Сельскохозяйственная биология. – 2010 – № 6. – С. 94-99.

© В. В. Даценко,
Н. Л. Хименко

*Надійшла до редакції 17 листопада 2017 р.
Рекомендував до друку
докт. техн. наук Я. М. Семчук*

УДК 502.17: 620.9(477.73)

*І. В. Ремешевська¹,
Н. В. Гурець¹, О. А. Омельчук²*

*¹ Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова,*

² Міськвиконком Миколаївської міської ради

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ЕНЕРГОГЕНЕРУЮЧОГО КОМПЛЕКСУ НА БІОМАСІ ТОВ «АГРОПРОМИСЛОВА КОМПАНІЯ «EUGROIL»

Описано сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні. Наведено технологічну характеристику енергогенеруючого комплексу на біомасі ТОВ «АПК «EUGroil». Проведено оцінку впливу експлуатаційної діяльності енергогенеруючого комплексу на довкілля. Представлено результати дослідження еколого-економічної ефективності його впровадження та запропоновано перспективи подальшого розвитку виробництва.

Ключові слова: альтернативні джерела енергії, біоенергетика, біомаса, енергогенеруючий комплекс, «зелений» тариф.

The current state and prospects of bioenergy development in Ukraine are described. The energy-technological characteristics of complex on biomass of LLC «AIC «EUGroil» are given. The operational activities impact of the energy complex on the environment is assessed. The analysis of environmental and economic effectiveness of its implementation are presented. Prospects for further production development are proposed.

Keywords: alternative energy sources; bioenergy; biomass; energy complex; “green” tariff.

Постановка проблеми. Останнім часом у багатьох країнах світу на перший план виходить проблема ресурсозабезпеченості енергетичного господарства. З одного боку, сумарні запаси паливних ресурсів досить великі, до того ж щороку стають відомими нові поклади викопного палива. Однак, спостерігається відносна ресурсна обмеженість, зумовлена можливістю швидкого вичерпання найбільш доступних родовищ, і перехід до розробки складніших, що спричинює подорожчання енергоносіїв і робить використання більшої частини паливних ресурсів нерентабельним. Вирішення вище зазначеної проблеми багато вчених вбачають у розвитку альтернативної енергетики й поширенні відновлюваних джерел енергії (ВДЕ).

На сьогодні, відновлювана енергетика є одним з секторів енергетики, що динамічно розвивається у світі. Частка ВДЕ в загальному постачанні первинної енергії у світі становить близько 13 %, у тому числі біомаси – 10 %, що відповідає більше 1300 млн т н. е./рік. Європейський Союз успішно рухається в напрямі досягнення мети 2020 р. у відновлюваній енергетиці – 20% енергії з ВДЕ у валовому кінцевому енергоспоживанні. За останні 10 років цей показник зріс з 8 % до 14 % [2].

Останнім часом обсяги споживання біомаси для виробництва енергії в Європейському Союзі складають більше 120 млн т н. е. / рік, а до 2020 року валове

кінцеве споживання біомаси має збільшитися до 138 млн т н.е. / рік. Основним видом використовуваної біомаси є тверда біомаса. Її частка в загальному обсязі споживання незмінно дорівнює близько 70 %.

Україна володіє величезним потенціалом у виробництві біопалива, але його застосування, як і раніше, дуже обмежене. Історично склалося, що ціни на викопні види палива в Україні завжди були занижені щодо світових цін. За останні 5 років зростання цін на газ в Україні склало більше 600 %, а цін на електроенергію – більш ніж на 100 %, у зв'язку з цим відновлювані види палива стали більш конкурентоспроможними.

Біомаса є екологічно чистим паливом порівняно з іншими твердими видами, наприклад, вугіллям. Як правило, біомаса містить мало сірки, а її спалювання за відносно невисоких температур не призводить до утворення оксидів азоту. Крім того воно не посилює парниковий ефект, знижує негативний антропогенний вплив на довкілля й одночасно розв'язує питання утилізації відходів.

Виходячи з вищезазначеного, найголовнішою перевагою використання саме біоенергетичного потенціалу є нарощування потужностей виробництва за умови одночасного зниження рівня енергетичних затрат й екологічного забруднення довкілля, а дослідження еколого-економічної ефективності виробничої діяльності енергогенеруючого комплексу на біомасі є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В сучасних умовах господарювання дослідження ефективності виробничої діяльності підприємств альтернативної енергетики на основі комплексного аналізу й контролю процесів функціонування підприємств, є одним з чинників забезпечення їх конкурентоспроможності.

У наукових роботах О. Д. Барановської, М. В. Добрівської, М. Г. Земляного, М. П. Талавирі та А. І. Шевцова розглянуто теоретико-методологічні засади виробництва біопалива, проведено аналіз стану виробництва й використання біопалива, а також шляхів удосконалення й покращення розвитку біопалива в Україні та у світі загалом [4]. Економічний механізм регулювання ринку біопалива в Україні й провідних країнах світу розглянуто в матеріалах досліджень О. М. Варченко, Н. П. Карачної, Г. М. Калетніка та ін. [1, 3, 5].

Праці вчених Г. Г. Гелетути, Т. А. Железної та Б. А. Костюковського містять результати дослідження впливу впровадження «зеленого тарифу» на стан і розвиток електроенергетики в Україні, але більше уваги приділяється вивченню питання заміщення природного газу біомасою у виробництві теплової енергії в Україні [2, 7]. Натомість недостатньо розкрито питання дослідження ефективності реально діючих енергогенеруючих комплексів на території України й не сформульовано систему показників на основі яких можна визначити ступінь ефективності виробничої діяльності таких підприємств.

Метою статті є проведення дослідження еколого-економічної ефективності виробничої діяльності енергогенеруючого комплексу на біомасі ТОВ «АПК «EUGROIL» із окресленням перспектив розвитку підприємства як одного із найбільш екологічно чистих й економічно вигідних видів виробництва електроенергії.

Виклад основного матеріалу. ТОВ «АПК «EUgroil», яке входить до складу Групи компаній EUgroil, – відносно нова компанія, створена в 2011 р., а з 2013 р. почала стрімко розширюватися.

Група компаній EUGROIL була організована як вертикально інтегрована група, що розвивається на основі принципів диверсифікації й взаємозв'язку різних видів діяльності, глибокої переробки сировини, безвідходного виробництва, використання енергоефективних технологій, несировинного експорту й європейських стандартів корпоративної культури. Окрім ТОВ «АПК «EUGROIL», до складу Групи EUGROIL входять ТОВ «Миколаївський ОЕЗ» і ТОВ «EUGROIL».

Реалізацією цієї концепції став комплекс з переробки олійних культур, запущений у 2012 р. номінальною потужністю до 600 тонн соняшнику на добу. Запуск виробництва

дозволив групі вийти на внутрішній і зовнішній ринки готової продукції – олії соняшникової [6].

Бізнес-діяльність групи здійснюється в трьох напрямках:

1 Генерування електроенергії з альтернативних джерел. Частка ТОВ «АПК «EUGROIL» у загальних потужностях електроенергетики на біомасі в Україні становить 28 %.

2 Виробництво соняшникової олії. Миколаївський олійноекстракційний завод переробляє закуплене насіння соняшнику й продає соняшкову олію оптом переважно на експорт. Планується збільшення обсягів переробки в 5 разів від 37000 т / рік до 183000 т / рік. Після збільшення обсягів компанія буде займати приблизно 2 % українського ринку.

3 Реалізація насіння соняшнику. Компанія закуповує соняшник під час збору врожаю, зберігає його й продає пізніше.

Енергогенеруючий комплекс побудовано з метою забезпечення необхідних навантажень на вироблення до 5,0 МВт електричної енергії з подальшою видачею потужності в міські електричні мережі. Річне виробництво електричної енергії складає 40,0 млн кВт·год.

Проведення аналізу ефективності впровадження енергогенеруючого комплексу на біомасі ТОВ «АПК «EUGROIL» базувалося на вивченні технічних характеристик функціонування комплексу, визначенні впливу на компоненти навколишнього середовища та дослідженні еколого-економічних показників результатів його виробничої діяльності.

Вся електроенергія, що продукується комплексом, продається на Енергоринок. Держава гарантує, що вся вироблена на біомасі електроенергія буде придбана за спеціальним «зеленим» тарифом.

Відповідно до Закону України «Про електроенергетику», Указу Президента України від 23 листопада 2011 р. № 1059 «Про Національну комісію, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики» й Порядку встановлення, перегляду та припинення дії «зеленого» тарифу для суб'єктів господарської діяльності, затвердженого постановою НКРЕ від 02 листопада 2012 р. № 1421, Національною комісією, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики, затверджено Постанову № 1688 від 19 грудня 2013 р. Про встановлення «зеленого» тарифу ТОВ «АПК «EUGROIL» до 01 січня 2030 року [8].

Будівництвом енергогенеруючого комплексу передбачено такі основні технічні рішення:

- створення головного корпусу енергогенеруючого комплексу в складі: машинний зал, котельне відділення;
- установлення в котельному відділенні енергогенеруючого комплексу двох твердопаливних котлів на базі ДКВр-10-23-370 (реконструйованих до паропродуктивності 20,0 т/год для спалювання пелет з відходів сільськогосподарської та лісової промисловості);
- облаштування в машинному відділенні енергогенеруючого комплексу двох турбогенераторів типу П2-2,4/0,5 електричною потужністю по 2,5 МВт кожен;
- застосування як основного палива енергогенеруючого комплексу пелет з відходів сільськогосподарської й лісової промисловості;
- будівництво лінії подачі палива від силосів до бункерного відділення котельної з подачею палива у витратні бункери котлів;
- спорудження оборотної системи охолодження циркуляційної води;
- обладнання машинного залу енергогенеруючого комплексу системою постачання олії (установка дренажно-приймального й доливного баків олії, пристрій бака аварійного зливу масла, установка пересувної очисної станції від олії);
- використання наявної блокової водопідготовчої установки (зворотний осмос) продуктивністю до 10,0 м³/год (для потреб енергогенеруючого комплексу й технології);

- оснащення пристроєм корекційної обробки котлової води (фосфатування);
- установлення тягovidуного обладнання котельні (вентилятори первинного і вторинного повітря, вентилятори пневмозабросу, димососи котлів);
- побудова системи газоочищення відхідних газів від котлів – установка за кожним котлом батарейних циклонів типу БЦ-512;
- відведення очищених газів у запроєктовані сталеві димові труби;
- налаштування системи золовидалення;
- облаштування пристрою продувного колодязя – збір й охолодження продувних і дренажних вод з подальшою подачею в каналізацію;
- оснащення котельного відділення й машинного залу енергогенеруючого комплексу вантажопідйомним устаткуванням;
- обладнання систем водопостачання й каналізації енергогенеруючого комплексу вантажопідйомним устаткуванням;
- налаштування підводів і відводів зовнішніх інженерних комунікацій з урахуванням наявних комунікацій і можливості їх використання;
- організація технічного й протипожежного водопостачання об'єктів;
- електропостачання споживачів головного корпусу енергогенеруючого комплексу й системи оборотного водопостачання;
- проектування системи блискавкозахисту й заземлення;
- організація управління й регулювання технологічного процесу;
- протипожежні заходи;
- заходи з техніки безпеки й охорони праці персоналу;
- заходи щодо захисту навколишнього середовища від шкідливих впливів технологічних процесів.

Основне паливо енергогенеруючого комплексу – пелети з відходів сільськогосподарської й лісової промисловості, $Q_{рн}=4100$ ккал/кг. Резервне (допоміжне) паливо енергогенеруючого комплексу відсутнє. Біомаса, яка використовується для спалювання, складається на 70 % з деревної тріски, 30% з лушпиння соняшнику. Деревина постачається з місцевих лісгоспів, лушпиння соняшнику – з олійно екстракційного заводу, що входить до Групи EUGROIL. Часова витрата палива натурального (пелети з відходів сільськогосподарської й лісової промисловості) котлами становитиме 6575 кг/рік. Річна витрата палива натурального (пелети з відходів сільськогосподарської й лісової промисловості) енергогенеруючим комплексом дорівнюватиме 52,604 тис.тон.

З метою визначення впливу експлуатаційної діяльності енергогенеруючого комплексу ТОВ «АПК «EUGROIL» на довкілля проведено оцінку впливу його експлуатаційної діяльності на атмосферне повітря, ґрунти, водні ресурси й накопичення відходів.

Наявна система газоочистки й пилеуловлення, модернізація якої проведена в 2016 р., із встановленням додаткового газоочисного обладнання, дозволяє підприємству дотримуватись вимог природоохоронного законодавства у сфері охорони навколишнього середовища. Приземні концентрації забруднювальних речовин експлуатаційної діяльності комплексу подано в табл. 1.

Наведені концентрації свідчать про те, що рівень забруднення атмосфери й негативний вплив на атмосферне повітря в районі діяльності є допустимим.

З огляду на профіль планованої діяльності, розміщення технологічного обладнання комплексу в будівлі з монолітними бетонними основами і на бетонних фундаментах, вплив на ґрунти буде зведено до мінімуму. Зола, що утворюється в процесі спалювання деревних пелет, не забруднює ґрунти й землю, оскільки зберігається в спеціально відведеному місці – бункері золи об'ємом $8,0 \text{ м}^3$, своєчасно вивозиться в установленому порядку й передається спеціалізованим підприємствам для використання як добрива. Збір витоків масла, злив забрудненої олії здійснюватиметься в дренажно-приймальний бак. Передбачено влаштування підземного баку аварійного зливу олії. Застосування

асфальтобетонного покриття для доріг і проїздів також дозволить звести до мінімуму негативний вплив на ґрунти й землю.

Таблиця 1

**Приземні концентрації експлуатаційної діяльності енергогенеруючого комплексу
ТОВ «АПК «EUGROIL»**

Найменування забруднюючої речовини	Викиди забруднюючих речовин в цілому по об'єкту		Максимальна приземна концентрація речовини на кордоні нормативної СЗЗ	
			фон	внесок існуючих джерел
	г/с	т/рік	частка ГДК	частка ГДК
заліза оксид	0,0037	0,0002	-	-
марганець та його сполуки	0,0003	1,5e-5	0,40	-
хром шестивалентний	1,0e-5	6,0e-7	0,40	-
азоту діоксид	6,2785	180,767	0,39	0,19
вуглецю оксид	6,1201	176,229	0,58	0,05
ангідрид сірчистий	-	-	0,02	-
метан	0,1568	4,5186	-	<0,05
акролеїн	0,0011	0,0001	0,40	-
зола	2,5868	17,4038	0,40	<0,05
пил абразивно-металевий	0,0190	0,0006	-	-
кислота олій нова	8,1e-8	8,5e-8	-	-
пил лушення соняшнику	0,0601	0,6134	-	-
пил насіння соняшнику	0,0088	0,0289	-	-
пил шроту соняшнику	0,0401	0,8050	-	-

На виробництві заплановано заходи, що перешкоджають прямому впливу на підземні й ґрунтові води, а також допустимі обсяги водоспоживання й водовідведення від наявних мереж, вплив об'єкта на водні ресурси можна вважати допустимим.

Вплив об'єкта на водні ресурси відбувається у вигляді водоспоживання й водовідведення, має непрямий характер (оскільки водопостачання здійснюватиметься від наявного водопроводу; відведення стічних вод – в наявну мережу каналізації). З огляду на необхідні витрати води для охолодження основного й допоміжного обладнання, передбачено оборотну систему охолодження з вентиляторами градирного типу ІВА-1500. Розрахункові витрати на охолодження основного й допоміжного обладнання комплексу становлять $2 \times 775 = 1550$ м³/год. Промислові стоки відводяться в оборотну систему з подальшим випаровуванням. Безворотні втрати складатимуть 62124,0 м³/рік. Побутові стоки від енергогенеруючого комплексу відсутні.

Основними відходами, що утворюються в процесі нормальної експлуатації комплексу є: зола – 351 т/рік; відходи комунальні – 2,6 т/рік; матеріали обтиральні зіпсовані, відпрацьовані чи забруднені – 0,15 т/рік; одяг захисний зіпсований, відпрацьований – 0,05 т/рік; лампи люмінесцентні, що містять ртуть, зіпсовані або відпрацьовані – 25 шт/рік.

З огляду на прогнозоване зберігання відходів відповідно до санітарних норм і техніки безпеки, їх подальшу здачу спеціалізованим підприємствам, вивезення на міське звалище, утилізацію на своїй території, а також допустимі обсяги їх накопичення, можна зробити висновок про те, що негативний вплив відходів на навколишнє середовище перебуває в рамках екологічних обмежень.

На основі отриманих результатів встановлено, що підприємство відповідає вимогам природоохоронного законодавства у сфері охорони навколишнього середовища.

Дослідження результатів виробничої діяльності енергогенеруючого комплексу на біомасі ТОВ «АПК «EUGROIL» проведено на основі фінансових показників й динаміки генерації електричної енергії за останні два роки. Згідно з одержаними результатами в 2015 р. компанія виробила 7 379 384 кВт·год енергії, загальною вартістю 25 233 815 грн., а у 2016 році – 12 016 930 кВт·год енергії, загальною вартістю 50 730 059 грн.

Об'єми генерації електроенергії збільшуються в осінньо-зимовий період, що пов'язано зі збільшенням об'ємів переробки сировини в цей період й особливостями функціонування агропромислового комплексу. Максимальний показник генерації електроенергії в 2016 р. зафіксовано в жовтні – 1 304 251 кВт·год, загальною вартістю 5 706 829 грн. Динаміка генерації електричної енергії енергогенеруючого комплексу за 2016 рік наведено на рис. 1.

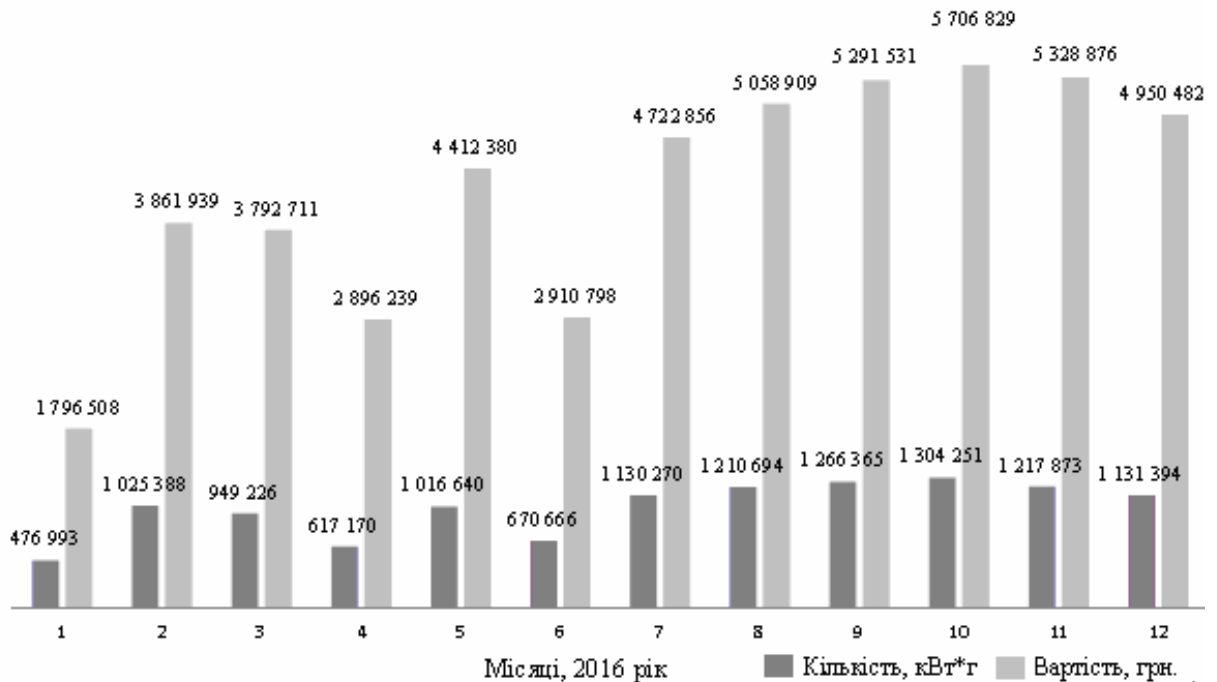


Рис. 1. Динаміка генерації електричної енергії енергогенеруючого комплексу на біомасі ТОВ «АПК «EUGROIL» за 2016 рік

На основі аналізу ефективності впровадження енергогенеруючого комплексу ТОВ «АПК «EUGROIL» запропоновано перспективи його подальшого розвитку.

З метою розширення сегмента електрогенерації необхідно залучити додаткове фінансування й встановити енергогенеруюче обладнання загальною потужністю 5 МВт, у доповнення до наявного. Оціночна вартість такого додаткового обладнання становить 2 млн євро за 1 МВт. Загальну структуру собівартості виробництва біопалива на 1 МВт потужностей енергогенеруючого комплексу можна презентувати таким чином: витрати на придбання біомаси – 60 %, амортизаційні відрахування – 18 %, заробітна плата – 17 %, інше – 5 %.

З метою підтвердження економічної ефективності запропонованих заходів були розраховані показники виробництва, прибутку та прибутковості на 1 МВт потужностей енергогенеруючого комплексу ТОВ «АПК «EUGROIL» (табл. 2–4).

Іншим варіантом розвитку підприємства може бути запуск виробництва біопалива (біодизелю, біоетанолу й пелет). Компанія також має можливості встановити мультикультурний олійно-екстракційний завод для збільшення об'ємів виробництва рослинних жирів.

Таблиця 2

Показники виробництва та прибутку на 1 МВт потужностей енергогенеруючого комплексу ТОВ «АПК «EUGROIL»

Показники	Євро/рік
Встановлена потужність, кВт	1,000
Номінальне виробництво, кВт·год	8,760,000
Коефіцієнт використання потужностей	85%
Фактичне виробництво, кВт·год	7,446,000
Тариф євро/кВт/год	0,111
Прибуток	830,046

Таблиця 3

Показники прибутку та прибутковості на 1 МВт потужностей енергогенеруючого комплексу ТОВ «АПК «EUGROIL»

Показники	Євро/рік
Прибуток	830,046
Собівартість	-340,319
Валовий прибуток	489,727
Валова маржа	59%
Адмінвитрати	-41,502
Витрати на доставку	0
ЕВІТ(операційний прибуток)	448,225
Амортизація	84,000
ЕВІТDA (аналітичний показник)	532,225
ЕВІТDA маржа	64%
Відсотки	0
Прибуток до податків	532,225
Податок на прибуток	-95,801
Чистий прибуток	436,425
Чиста маржа	53%

Таблиця 4

Структура собівартості виробництва біопалива на 1 МВт потужностей енергогенеруючого комплексу ТОВ «АПК «EUGROIL»

Біомаса	60%
Амортизація	18%
Заробітна плата	17%
Інше	5%

Висновки та перспективи наступних дій. Наведено результати дослідження еколого-економічної ефективності виробничої діяльності енергогенеруючого комплексу на біомасі ТОВ «АПК «EUGROIL», функціонування якого одночасно вирішує питання утилізації відходів й отримання безкоштовної електроенергії.

Проаналізовано вплив діяльності комплексу на навколишнє середовище і визначено, що його функціонування відповідає вимогам і нормативам екологічного законодавства.

Досліджено економічні показники й результати виробничої діяльності комплексу за 2015–2016 роки та встановлено, що об'єми генерації електроенергії збільшуються в осінньо-зимовий період, що пов'язано зі збільшенням об'ємів переробки сировини компанії в цей період.

Запропоновано встановити додаткове енергогенеруюче обладнання загальною потужністю 5 МВт, що дасть можливість отримати річний EBITDA на 1 мВт потужностей у розмірі 0,53 млн євро, а чистий прибуток – у розмірі 0,44 млн євро.

Література

- 1 Варченко О. М. Економічний механізм регулювання ринку біопалива у провідних країнах світу [Текст] / О. М. Варченко, К. В. Слупян // Вісник аграрної науки. – 2009. – № 11. – С. 62.
- 2 Гелетука Г. Г. Перспективы использования отходов сельского хозяйства для производства энергии в Украине. Часть 1 [Текст] / Г. Г. Гелетука, Т. А. Железная, А. В. Трибой // Промышленная теплотехника. – 2014. – Т. 36. – № 4. – С. 36–42.
- 3 Карачна Н. П. Економічні аспекти державних витрат та необхідність державної підтримки ринку біопалива [Електронний ресурс] / Н. П. Карачна, Р. В. Чайка // Ефективна економіка. – 2012. – № 3. – Режим доступу: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=1008>
- 4 Енергетика України на шляху до європейської інтеграції [Текст]: монографія / А. І. Шевцов, М. Г. Земляний, А. З. Дорошкевич. – Дніпропетровськ : Національний інститут стратегічних досліджень, 2004. – 148 с.
- 5 Калетник Г. М. Розвиток біопалива у Європі [Текст] / Г. М. Калетник // Економіка АПК. – 2008. – № 9. – С. 99.
- 6 Компания «Евгройл» запустила теплоэнергетический комплекс. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://eugroil.com.ua/ewdsfsdf/%D1%81%D0%BC%D0%B8%D0%BF%D1%80%D0%BE-%D0%BD%D0%B0%D1%8>
- 7 Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні [Текст]: практичний посібник / За ред. Г. Г. Гелетука. – К. : «Поліграф плюс», 2015. – 72 с.
- 8 Постанова № 1688 від 19.12.2013 року «Про встановлення «зеленого» тарифу ТОВ «АПК «Євгройл» [Електронний ресурс] // Офіційний сайт національної комісії, що здійснює національне регулювання у сфері енергетики. – Режим доступу: <http://www3.nerc.gov.ua/?id=9017>
- 9 Талавирия М. П. Розвиток та застосування різних видів біоенергетики [Текст] : монографія / М. П. Талавирия, О. Д. Барановська, М. В. Добрівська. – Ніжин : Видавець ПП Лисенко М. М., 2012. – 180 с.

© І. В. Ремешевська,
Н. В. Гурець,
О. А. Омельчук

*Надійшла до редакції 13 листопада 2017 р.
Рекомендував до друку
докт. тех. наук О. М. Мандрик*

УДК 629.015: 625.7 (07)

*Л. С. Шелудченко
Подільський державний
аграрно-технічний університет*

ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛЬНОГО БАЛАНСУ “ПАЛЬНЕ-ВИКИДИ”. СКЛАД ТА ОБСЯГИ ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ, ЯКІ ПРОДУКУЮТЬСЯ АВТОТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ

На підставі хіміко-термічного аналізу процесів згоряння вуглеводневого пального у двигунах внутрішнього згоряння автотранспортних засобів, наведено результати аналітичного оцінювання обсягів токсичних та шкідливих газових викидів автотранспортними потоками за такими інгредієнтами як CO, CO₂, N_xO_y, вуглеводні, зокрема C₂₀H₁₂, залежно від інтенсивності

Запропоновано встановити додаткове енергогенеруюче обладнання загальною потужністю 5 МВт, що дасть можливість отримати річний EBITDA на 1 мВт потужностей у розмірі 0,53 млн євро, а чистий прибуток – у розмірі 0,44 млн євро.

Література

- 1 Варченко О. М. Економічний механізм регулювання ринку біопалива у провідних країнах світу [Текст] / О. М. Варченко, К. В. Слупян // Вісник аграрної науки. – 2009. – № 11. – С. 62.
- 2 Гелетука Г. Г. Перспективы использования отходов сельского хозяйства для производства энергии в Украине. Часть 1 [Текст] / Г. Г. Гелетука, Т. А. Железная, А. В. Трибой // Промышленная теплотехника. – 2014. – Т. 36. – № 4. – С. 36–42.
- 3 Карачна Н. П. Економічні аспекти державних витрат та необхідність державної підтримки ринку біопалива [Електронний ресурс] / Н. П. Карачна, Р. В. Чайка // Ефективна економіка. – 2012. – № 3. – Режим доступу: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=1008>
- 4 Енергетика України на шляху до європейської інтеграції [Текст]: монографія / А. І. Шевцов, М. Г. Земляний, А. З. Дорошкевич. – Дніпропетровськ : Національний інститут стратегічних досліджень, 2004. – 148 с.
- 5 Калетник Г. М. Розвиток біопалива у Європі [Текст] / Г. М. Калетник // Економіка АПК. – 2008. – № 9. – С. 99.
- 6 Компания «Евгройл» запустила теплоэнергетический комплекс. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://eugroil.com.ua/ewdsfsdf/%D1%81%D0%BC%D0%B8%D0%BF%D1%80%D0%BE-%D0%BD%D0%B0%D1%8>
- 7 Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні [Текст]: практичний посібник / За ред. Г. Г. Гелетука. – К. : «Поліграф плюс», 2015. – 72 с.
- 8 Постанова № 1688 від 19.12.2013 року «Про встановлення «зеленого» тарифу ТОВ «АПК «Євгройл» [Електронний ресурс] // Офіційний сайт національної комісії, що здійснює національне регулювання у сфері енергетики. – Режим доступу: <http://www3.nerc.gov.ua/?id=9017>
- 9 Талавирия М. П. Розвиток та застосування різних видів біоенергетики [Текст] : монографія / М. П. Талавирия, О. Д. Барановська, М. В. Добрівська. – Ніжин : Видавець ПП Лисенко М. М., 2012. – 180 с.

© І. В. Ремешевська,
Н. В. Гурець,
О. А. Омельчук

*Надійшла до редакції 13 листопада 2017 р.
Рекомендував до друку
докт. тех. наук О. М. Мандрик*

УДК 629.015: 625.7 (07)

*Л. С. Шелудченко
Подільський державний
аграрно-технічний університет*

ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛЬНОГО БАЛАНСУ “ПАЛЬНЕ-ВИКИДИ”. СКЛАД ТА ОБСЯГИ ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ, ЯКІ ПРОДУКУЮТЬСЯ АВТОТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ

На підставі хіміко-термічного аналізу процесів згоряння вуглеводневого пального у двигунах внутрішнього згоряння автотранспортних засобів, наведено результати аналітичного оцінювання обсягів токсичних та шкідливих газових викидів автотранспортними потоками за такими інгредієнтами як CO, CO₂, N_xO_y, вуглеводні, зокрема C₂₀H₁₂, залежно від інтенсивності

і частки вантажних автомобілів у транспортному потоці, режиму руху транспортних засобів та обсягів витрат палива.

Ключові слова: автотранспортний потік, матеріальний баланс вуглеводневого пального, продукти згоряння, газові викиди.

On the basis of thermochemical analysis of combustion processes of hydrocarbon fuels in internal combustion engines of motor vehicles, the results of analytical evaluation of volumes of toxic and harmful gas emissions from motor vehicles flows on such ingredients like CO, CO₂, N_xO_y, hydrocarbons, including C₂₀H₁₂, depending on the intensity and the proportion of trucks in traffic flow, mode of movement of vehicles and amount of fuel.

Key words: transport stream, material balance of hydrocarbon fuels, combustion products, gas emissions.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями. Перетворення хімічної енергії транспортних палив в роботу вантажо- та пасажиропотоків [1, 2] призводить до утворення шкідливих викидів, які, як правило, є токсичними відпрацьованими газами автомобільних двигунів. Тому, оцінка матеріального балансу “пальне – викиди автотранспортних засобів” є надзвичайно важливою з точки зору визначення рівнів екологічної безпеки автотранспортних комплексів, розробки заходів захисту придорожніх територій та екологічної раціоналізації природно-техногенних геоекосистем з розвинутою автотранспортною мережею.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, в яких започатковано розв’язання даної проблеми. В двигунах внутрішнього згоряння автотранспортних засобів відбуваються процеси ламінарного і турбулентного гомогенного згоряння пального, які взаємодіють з речовинами, що перебувають у вигляді парів рідкої фази з використанням кисню, який міститься в атмосферному повітрі [3]. Основним джерелом енергії при згорянні палив є окиснення атомів вуглецю *C* та водню *H*. Окрім зазначених компонентів, пальне може містити в незначних кількостях сірку, сполуки нітрогену, спирти, ефіри, важкі метали [3, 5].

“Умовну молекулу” рідкого пального можна зобразити в загальному вигляді як $C_xH_yO_z$ (для пального, яке містить нітроген – $C_xH_yO_zN_g$, які містять сірку – $C_xH_yO_zN_gS_k$). Робочий матеріальний баланс пального формується через масовий вміст його окремих елементів і визначається як [3]:

$$w_C + w_H + w_O + w_N + w_S = 1 \quad (1)$$

де *w* – масові частки окремих елементів в 1 кг пального.

Якщо знехтувати значеннями w_N та w_S , отримуємо:

$$w_C + w_H + w_O = 1 \quad (2)$$

Частки маси *w* окремих елементів в 1 кг пального $C_xH_yO_z$ визначаються як [3]:

$$\begin{cases} w_C = \frac{12x}{12x + y + 16z} = \frac{12x}{M_r} \\ w_H = \frac{y}{12x + y + 16z} = \frac{y}{M_r} \\ w_O = \frac{16z}{12x + y + 16z} = \frac{16z}{M_r} \end{cases} \quad (3)$$

де M_m – молярна маса “умовної молекули” пального.

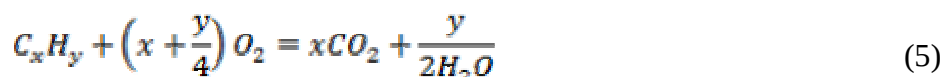
Виділення раніше невіршених частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Для пального (бензин, дизельне пальне) наявність кисню можна знехтувати і “умовна молекула” пального набуває вигляду C_xH_y , а отже:

$$M_T = 12x + y \quad (4)$$

Для визначення співвідношення між кількістю вихідних продуктів згоряння (паливо і кисень атмосферного повітря) і відпрацьованими газами двигуна, необхідно зробити такі припущення:

- всі хімічні сполуки складаються з атомів окремих елементів, які пов'язані між собою у визначених числових співвідношеннях;
- в хімічних реакціях атоми речовин зберігають свою ідентичність і відбувається лише їх перегрупування.

Повне згоряння (окиснення) молекули пального C_xH_y до кінцевих продуктів (діоксид вуглецю CO_2 та водяної пари H_2O) визначається рівнянням (в кмоль) [3, 5]:



x атомів C в 1 кмоль C_xH_y дають x кмоль CO_2 , $N_{CO_2} = x$;

y атомів H в 1 кмоль C_xH_y дають $y/2$ кмоль H_2O , $N_{H_2O} = y/2$.

Склад продуктів згоряння в перерахунку на 1 кг пального ($1/M_T$, кмоль) становитиме:

$$\begin{cases} N_{CO_2} = \frac{x}{M_T} = \frac{x}{12x + y} \\ N_{H_2O} = \frac{y}{2} \frac{1}{M_T} = \frac{y/2}{12x + y} \end{cases} \quad (6)$$

або через елементний склад, з урахуванням (3) отримуємо:

$$\begin{cases} N_{CO_2} = \frac{w_C}{12} \\ N_{H_2O} = \frac{w_H}{2} \end{cases} \quad (7)$$

В реакції беруть участь $(x+y)/4$ кмоль O_2 , $N_{O_2} = x + y/4$.

Формулювання мети статті. Встановити обсяги газоподібних викидів, які продукуються автотранспортними потоками з різною інтенсивністю колективного руху транспортних засобів.

Виклад основного матеріалу. Кількість кисню (кмоль), необхідна для повного згоряння пального, визначена на підставі (5) є стехіометричною і визначається як [3]:

$$N_{O_2} = x + \frac{y}{4} = \frac{w_C}{12} M_T + \frac{w_H}{4} M_T \quad (8)$$

кількість (кмоль) кисню O_2 на 1 кг пального становитиме:

$$\widetilde{L}_O = \frac{N_{O_2}}{M_T} = \frac{x + y/4}{12x + y} = \frac{w_C}{12} + \frac{w_H}{4} \quad (9)$$

а, маса (кг) кисню O_2 необхідна для окиснення 1 кг пального буде:

$$\widetilde{L}_O = \widetilde{L}_O M_{O_2} = \frac{32x + 8y}{12x + y} = \frac{8}{3}w_C + 8w_H \quad (10)$$

Таким чином, маса кисню, яка споживається з атмосферного повітря для повного згоряння пального (кг/ кг палива) становить:

$$m_{O_2} = 0,23 \cdot \alpha \cdot l_0 \quad (11)$$

де l_0 – стехіометричне число; α – коефіцієнт надлишку повітря в паливо-повітряній суміші.

Обравши об'ємну частку кисню O_2 в атмосферному повітрі за 21 % і масову частку – за 23,2 % [3, 5], можна обчислити стехіометричну кількість повітря, необхідну для повного згоряння пального [3]:

- кількість (кмоль) повітря на 1 кг пального:

$$L_0 = \frac{\widetilde{L}_O}{0,21} = \frac{1}{0,21} \cdot \frac{x + y/4}{12x + y} = \frac{1}{0,21} \cdot \left(\frac{w_C}{12} + \frac{w_H}{4} \right) \quad (12)$$

- маса (кг) повітря на 1 кг пального:

$$l_0 = \frac{\widetilde{L}_O}{0,232} = 138 \cdot \frac{x + y/4}{12x + y} = 138 \cdot \left(\frac{w_C}{12} + \frac{w_H}{4} \right) \quad (13)$$

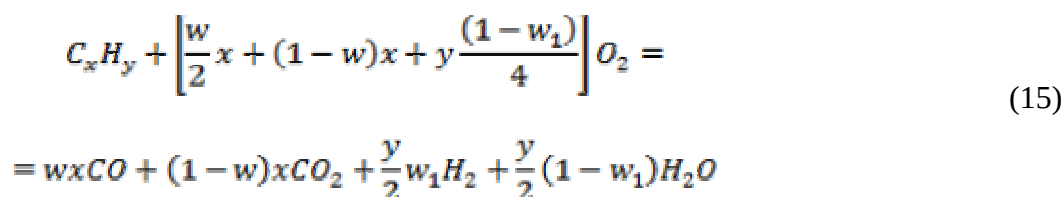
При цьому, коефіцієнт α надлишку повітря в (11) є відношенням кількості повітря G_a , яке міститься у паливо-повітряній суміші, до його (повітря) мінімальної кількості G_m , необхідної для повного згоряння пального, яке містить ця суміш:

$$\alpha = \frac{G_a}{G_T \cdot l_0} \quad (14)$$

де G_m – годинна витрата пального [кг/год]; $G_m \cdot l_0$ – мінімальна, теоретично необхідна для повного згоряння пального, кількість повітря [кг/год].

Якщо $\alpha=1$, то паливо-повітряна суміш має стехіометричний (теоретичний) склад, якщо $\alpha>1$ – суміш є збідненою, а якщо $\alpha<1$, то суміш збагачена паливом. Для дизельних двигунів номінальний режим роботи характеризується показником $\alpha=1,4-2,2$ [3].

У випадку, коли кількість кисню буде меншою за стехіометричну, окислення буде неповним: частина вуглецю окислиться лише до CO , а частина водню взагалі не згорить. Окислення вуглеводневої молекули C_xH_y відбувається за рівнянням:



де w – масова частка вуглецю, окисленого до CO ; w_1 – масова частка водню, що не згорів; x – маса вуглецю в молекулі пального; y – маса водню в молекулі пального.

В продуктах згоряння пального в цьому випадку виявляються водень (N_{H_2}), який не згорів, та оксид вуглецю (N_{CO}):

$$\begin{cases} N_{CO} + N_{CO_2} = x \\ N_{H_2} + N_{H_2O} = \frac{y}{2} \end{cases} \quad (16)$$

або на 1 кг пального (кмоль):

$$\begin{cases} N_{CO} + N_{CO_2} = \frac{w_C}{12} \\ N_{H_2} + N_{H_2O} = \frac{w_H}{2} \end{cases} \quad (17)$$

Із зменшенням кількості кисню в продуктах згоряння збільшується вміст CO та H_2 , а вміст H_2O та CO_2 – зменшується. За умови $w_1=w=1$ в продуктах згоряння буде міститись лише CO та водень H_2 , який не згорів. Відповідне рівняння окиснення матиме вигляд [3]:



Кількість кисню (кмоль) $N_{O_2} = x/2$ відповідає умові, відповідно до якої кількість атомів водню C дорівнює кількості атомів кисню O , тобто:

$$\frac{C}{O} = 1 \quad (19)$$

При подальшому збільшенні у паливо-повітряній суміші вмісту кисню O , тобто:

$$\frac{C}{O} > 1 \quad (20)$$

в продуктах згоряння виявляється вуглець, що не згорів, у вигляді сажі.

Методика оцінювання балансу газових викидів автотранспортними потоками. На рис.1 наведено розроблену принципову схему утворення токсичних та шкідливих викидів автотранспортним засобом, який обладнано чотиритактним двигуном внутрішнього згоряння.

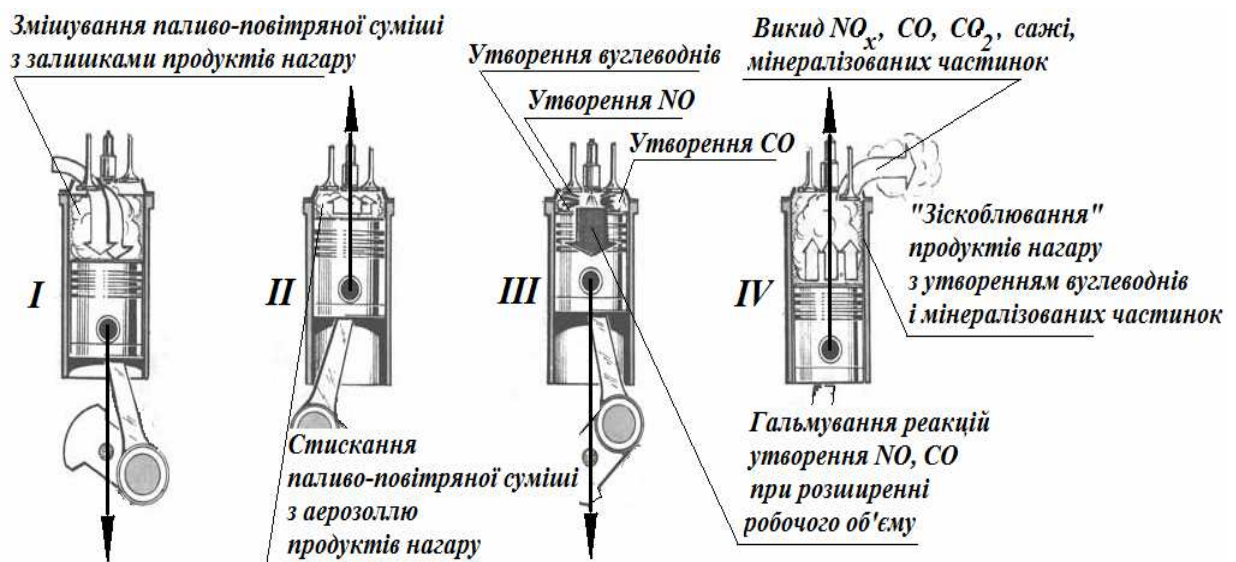


Рис. 1. Принципова схема утворення токсичних та шкідливих викидів автотранспортним засобом, який обладнано чотиритактним двигуном внутрішнього згоряння: I, II, III, IV – порядок робочих тактів двигуна

Шкідливі і токсичні гази у викидах двигунів внутрішнього згоряння можна поділити на такі групи:

- вуглецевмісні речовини – продукти повного та неповного згоряння пального (CO_2 , CO , вуглеводні, в тому числі ароматичні і поліциклічні);
- оксиди азоту (N_xO_y), які, як правило, приведені до NO ;

- речовини, утворення яких пов'язане з наявністю домішок у пальному (сполуки сірки, важких металів та їх оксидів).

Монооксид вуглецю CO утворюється в результаті згоряння пального з певним дефіцитом повітря, а також при дисоціації CO_2 . Послідовність утворення CO може бути представлена як:



Реакція радикалу RCO , яка призводить до утворення CO відбувається в результаті одночасної взаємодії з чотирма компонентами:



Окрім цього, частинки сажі, які утворені при “зіскоблюванні” частинок нагару, створюють можливість для здійснення реакції типу:



Диоксид вуглецю CO_2 є шкідливою речовиною, хоча і не належить до токсичних речовин. Типовою реакцією утворення CO_2 є реакція:



Окрім наведеної вище реакції (24), доокиснення CO в CO_2 відбувається у вихлопній трубі двигуна, а також у нейтралізаторних пристроях сучасних двигунів.

Вуглеводні (до десятка різних найменувань) утворюються в результаті неповного згоряння пального, зокрема при гальмуванні реакції горіння поблизу стінок циліндра двигуна. Максимальний рівень токсичності вуглеводнів має бенз(а)пірен $C_{20}H_{12}$. Реакція утворення $C_{20}H_{12}$ при піролізі вуглеводневого пального має вигляд:



Оксиди азоту N_xO_y , складаються, як правило з таких сполук N_2O , NO , N_2O_3 , NO_2 , N_2O_4 , N_2O_5 . Для практичних розрахунків перелічені вище сполуки приводять до NO . При горінні збіднених паливо-повітряних сумішей ($\alpha > 0,8$) характерними є ланцюгові реакції:



В збагачених паливо-повітряних сумішах ($\alpha < 0,8$) відбуваються такі реакції:



Рух автотранспортних засобів у складі щільних транспортних потоків значно відрізняється від режиму руху одиничного транспортного засобу. Пов'язана з цим зміна режиму роботи сукупності двигунів потоку призводить до зміни не лише витрат пального, але і до зміни структури, складу та обсягів викидів. В загальному вигляді викиди M_s [кг/год.×км] шкідливих речовин автотранспортними потоками можуть бути визначені як [3]:

$$M_s = \sum_i \sum_j \sum_n B_i \cdot J_j \cdot N \quad (27)$$

де B_i – питома кількість витраченого пального, кг/км;

J_j – питомий викид шкідливої (токсичної) речовини, кг/кг;

N – інтенсивність автотранспортного потоку.

Статистична усереднена питома кількість витрати пального фізичною автотранспортною одиницею становить при частці вантажного автотранспорту і автобусів в транспортному потоці [4]: $S \geq 25\%$ – $B_s = 0,21$ кг/км, при $5\% < S < 25\%$ – $B_s = 0,18$ кг/км, при $S \leq 5\%$ – $B_s = 0,11$ кг/км. При цьому, значення I_j становлять для CO – $201,8 \times 10^{-3}$ [кг/кг], CO_2 – 3183×10^{-3} [кг/кг], N_xO_y – $21,2 \times 10^{-3}$ [кг/кг], вуглеводні, в тому числі ароматичні і поліциклічні ($C_{20}H_{12}$) – $33,1 \times 10^{-3}$ [кг/кг].

Таким чином, з урахуванням інтенсивності N автотранспортного потоку отримуємо значення M_s [кг/год.×км]:

$$M_s = \frac{B_s \cdot I_s \cdot N}{24} \quad (28)$$

При цьому:

$$B_s = \varphi(S) \quad (29)$$

Результати інвентаризації газових викидів автотранспортними потоками в залежності від їх інтенсивності та категорії автомобільної, визначені на підставі виразу (28), наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Обсяги викидів сажі автотранспортними потоками, кг/год.×км

Категорія автомобільної дороги	Інтенсивність автотранспортного потоку, авт./добу	Забруднюючий інгредієнт	Частка вантажних автомобілів і автобусів у автотранспортному потоці		
			$S < 5\%$	$5\% < S < 25\%$	$S \geq 25\%$
I-а, I-б	> 10000	CO	9,25	15,13	17,59
		CO_2	145,89	238,72	278,51
		N_xO_y	0,97	1,59	1,86
		Вуглеводні	1,52	2,48	2,90
II	3000 – 10000	CO	6,45	10,55	12,31
		CO_2	102,12	167,11	194,96
		N_xO_y	0,68	1,11	1,30
		Вуглеводні	1,06	1,74	2,03
III	1000 – 3000	CO	1,84	3,01	3,65
		CO_2	29,18	47,75	55,71
		N_xO_y	0,20	0,32	0,37
		Вуглеводні	0,31	0,50	0,59
IV	150 – 1000	CO	0,55	1,02	1,08
		CO_2	8,75	14,32	16,71
		N_xO_y	0,06	0,09	0,11
		Вуглеводні	0,09	0,15	0,17
V	< 150	CO	0,09	0,15	0,18
		CO_2	1,46	2,39	2,78
		N_xO_y	0,01	0,02	0,02
		Вуглеводні	0,02	0,02	0,03

Висновок. Результати аналітичного оцінювання обсягів газових викидів автотранспортними потоками дозволяють встановити, що їх обсяги визначаються в першу чергу інтенсивністю і часткою вантажних автомобілів у транспортному потоці, режимом руху транспортних засобів та обсягами витрат пального. При цьому, обсяги викидів токсичних і шкідливих речовин для автомобільних доріг категорій I-а і I-б по окремих

інгредієнтах можуть досягати: CO – 17,59 кг/год.×км, CO_2 – 278,51 кг/год.×км, N_xO_y – 1,86 кг/год.×км, вуглеводням – 2,90 кг/год.×км.

Література

- 1 Бабков В.Ф. Проектирование автомобильных дорог. Ч. 1.: Учеб. для вузов / В.Ф. Бабков, О.В. Андреев – М.: Транспорт, 1979. – 367 с.
- 2 Бабков В.Ф. Проектирование автомобильных дорог. Ч. 2.: Учеб. для вузов / В.Ф. Бабков, О.В. Андреев – М.: Транспорт, 1987. – 415 с.
- 3 Луканин В.Н. Промышленно-транспортная экология: Учеб. для вузов / Под ред. В.Н. Луканина / В.Н. Луканин, Ю.В. Трофименко. – М.: Высш. шк., 2001. – 273 с.
- 4 Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів / Затверджено: Наказ Держкомстату України. – 13.11.2008 №452. Електронний ресурс - Режим доступу: <http://ukrstat.org/>.
- 5 Ямборак Р.С. Інженерна екологія. Ч.Ч. Хімічна екологія Навч. посібник / За ред. Б.А. Шелудченка / Р.С. Ямборак, Б.А. Шелудченко, І.А. Шелудченко. – Кам'янець-Подільський: В-во ФОП Сисин О.В., 2011. – 164 с.

© Л. С. Шелудченко

Надійшла до редакції 29 вересня 2017 р.
Рекомендував до друку
докт. техн. наук Л. І. Челядин

УДК 66.021+66.048.3

Є. Ю. Черниш, Р. А. Васькін, О. М. Яхненко
Сумський державний університет

РОЗРОБКА ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ УТИЛІЗАЦІЇ ФОСФОГІПСУ В ТЕХНОЛОГІЯХ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

У статті розглянуто можливість використання фосфогіпсу, як вторинного сировинного продукту в технологіях захисту навколишнього середовища, а саме запропоновано технологічне рішення утилізації фосфогіпсу, як мінерального ресурсу, при комплексному очищенні стоків та мулових осадів для стимулювання розвитку необхідних еколого-трофічних груп мікроорганізмів. Для реалізації процесу очищення газової фази із анаеробного блоку дефосфатації стоків та мулових осадів розроблено систему біоскруберу із завантаженням з гранул фосфогіпсу, що дозволяє забезпечити розширення можливостей екологічно безпечного використання фосфогіпсу в технологіях очищення забруднених компонентів середовища.

Ключові слова: захист навколишнього середовища, технологічне рішення, утилізація фосфогіпсу, очищення стоків та мулових осадів, очищення газової фази

The article focused on the technological developing of phosphogypsum using as a secondary raw material in environmental protection technologies, in particular, a technological solution for the phosphogypsum utilization as a mineral resource in the complex purification of wastewater and sewage sludge for the growth stimulating of the necessary ecological-trophic groups of microorganisms. The system of bioscrubber with phosphogypsum granules loading has been developed in order to realize the process of the gas phase purification from an anaerobic unit of dephosphation of wastewater and sewage sludge that allowed to expand the possibilities of ecologically safe use of phosphogypsum in the purification technologies of contaminated components of the environment.

Key words: environmental protection, technological solution, phosphogypsum utilization, treatment of wastewater and sewage sludge, gas phase purification

інгредієнтах можуть досягати: CO – 17,59 кг/год.×км, CO_2 – 278,51 кг/год.×км, N_xO_y – 1,86 кг/год.×км, вуглеводням – 2,90 кг/год.×км.

Література

- 1 Бабков В.Ф. Проектирование автомобильных дорог. Ч. 1.: Учеб. для вузов / В.Ф. Бабков, О.В. Андреев – М.: Транспорт, 1979. – 367 с.
- 2 Бабков В.Ф. Проектирование автомобильных дорог. Ч. 2.: Учеб. для вузов / В.Ф. Бабков, О.В. Андреев – М.: Транспорт, 1987. – 415 с.
- 3 Луканин В.Н. Промышленно-транспортная экология: Учеб. для вузов / Под ред. В.Н. Луканина / В.Н. Луканин, Ю.В. Трофименко. – М.: Высш. шк., 2001. – 273 с.
- 4 Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів / Затверджено: Наказ Держкомстату України. – 13.11.2008 №452. Електронний ресурс - Режим доступу: <http://ukrstat.org/>.
- 5 Ямборак Р.С. Інженерна екологія. Ч.Ч. Хімічна екологія Навч. посібник / За ред. Б.А. Шелудченка / Р.С. Ямборак, Б.А. Шелудченко, І.А. Шелудченко. – Кам'янець-Подільський: В-во ФОП Сисин О.В., 2011. – 164 с.

© Л. С. Шелудченко

Надійшла до редакції 29 вересня 2017 р.
Рекомендував до друку
докт. техн. наук Л. І. Челядин

УДК 66.021+66.048.3

Є. Ю. Черниш, Р. А. Васькін, О. М. Яхненко
Сумський державний університет

РОЗРОБКА ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ УТИЛІЗАЦІЇ ФОСФОГІПСУ В ТЕХНОЛОГІЯХ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

У статті розглянуто можливість використання фосфогіпсу, як вторинного сировинного продукту в технологіях захисту навколишнього середовища, а саме запропоновано технологічне рішення утилізації фосфогіпсу, як мінерального ресурсу, при комплексному очищенні стоків та мулових осадів для стимулювання розвитку необхідних еколого-трофічних груп мікроорганізмів. Для реалізації процесу очищення газової фази із анаеробного блоку дефосфатації стоків та мулових осадів розроблено систему біоскруберу із завантаженням з гранул фосфогіпсу, що дозволяє забезпечити розширення можливостей екологічно безпечного використання фосфогіпсу в технологіях очищення забруднених компонентів середовища.

Ключові слова: захист навколишнього середовища, технологічне рішення, утилізація фосфогіпсу, очищення стоків та мулових осадів, очищення газової фази

The article focused on the technological developing of phosphogypsum using as a secondary raw material in environmental protection technologies, in particular, a technological solution for the phosphogypsum utilization as a mineral resource in the complex purification of wastewater and sewage sludge for the growth stimulating of the necessary ecological-trophic groups of microorganisms. The system of bioscrubber with phosphogypsum granules loading has been developed in order to realize the process of the gas phase purification from an anaerobic unit of dephosphation of wastewater and sewage sludge that allowed to expand the possibilities of ecologically safe use of phosphogypsum in the purification technologies of contaminated components of the environment.

Key words: environmental protection, technological solution, phosphogypsum utilization, treatment of wastewater and sewage sludge, gas phase purification

Постановка проблеми. На сьогодні існує напрямок зменшення екологічної небезпеки від фосфогіпсових відвалів, який – полягає, з одного боку, у здійсненні заходів, що спрямовані на уникнення забруднення ґрунтів та вод існуючих масивів фосфогіпсу, а з іншого – у впровадженні технологій, які мінімізують потрапляння шкідливих компонентів до фосфогіпсу в процесі сірчаноокислої переробки фосфатів [1]. Необхідно зауважити, що традиційно використовується технологія переробки фосфоритів, яка генерує не лише корисний продукт, але й значні об'єми фосфогіпсу, що забруднені різними домішками. Відповідно, необхідно визначити напрямки переробки та утилізації фосфогіпсу, як вторинного сировинного ресурсу, за умови зв'язування токсичної компоненти у малорозчинні сполуки з вилученням їх із біохімічних циклів перетворення елементів у біосфері.

Аналіз останніх досліджень і публікацій у сфері утилізації фосфогіпсу в межах концепції екологічної безпеки переробки відходів. У роботі [2]. розроблено технологічний процес (рис. 1) сумісної утилізації свіжо утвореного і відвального фосфогіпсу, який дозволяє отримувати будівельні вироби стандартної якості, за спрощеною схемою, як зазначається автором, без забруднення навколишнього середовища стічними водами та зі зменшеним викидом газоподібних забруднюючих речовин в атмосферу. Слід зауважити, що було доречним розглянути енергетичні витрати на процес та джерела енергії, які використовуються для випалювання, сушіння та інших стадій обробки фосфогіпсу для оцінки частки забруднення, що може відбуватися при їх залученні до системи.

У ряді робіт досліджена можливість використання фосфогіпсу для рекультивації забруднених ґрунтів (після нафтового забруднення, для рекультивації ґрунтів забруднених мазутом) [4-10].

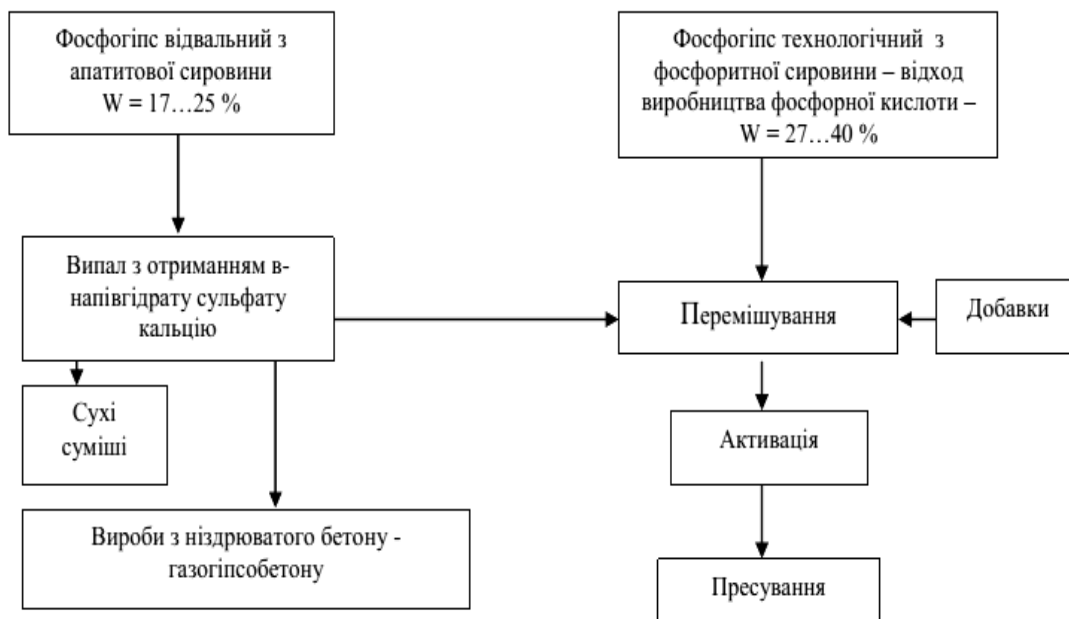


Рис. 1. Принципова схема процесу сумісної утилізації свіжоутвореного і відвального фосфогіпсу [2]

Відомий спосіб для рекультивації ґрунтів забруднених нафтою або ґрунтів в області ліквідації нафтових забруднень, що характеризується тим, що забруднений ґрунт не вивозиться, а до нього вносяться меліоранти на основі суміші з фосфогіпсу, піску, перегною й мінеральних добрив з азоту, фосфору й калію з наступною оранкою й посівом сільськогосподарських культур. Норма внесення меліорантів визначається з урахуванням розлитої нафти, агрономічної оцінки ґрунту до розливу, тривалості знаходження нафти на поверхні ґрунту.

При внесенні фосфогіпсу і його перемішуванні із ґрунтом відбуваються реакції, що протікають в основному в кислому середовищі: перетворення фракцій нафти з руйнуванням фракційного ланцюга й виділенням газів, включаючи сірководень, а також вуглекислий газ. Фосфогіпс, володіючи кислою реакцією, частково буде сприяти відділенню води від нафтових фракцій, для підтримки окисно-відновних функцій ґрунту. При перемішуванні субстрату (переорювання ґрунту) з внесенням фосфогіпсу, під впливом кисню повітря, відбуваються реакції руйнування або перегруповання фракційного складу нафти. При цьому ґрунтові частинки, насичені фракціями нафти, будуть взаємодіяти з неущкодженими нафтою ґрунтовими частинками, знімаючи тиск забруднення на субстрат.

При збереженні кислої реакції буде відбуватися подальший розклад органічної складової нафти. Крім цього відбудеться врівноваження окисно-відновного потенціалу й реакція ґрунтового дихання відновиться. Поглинання ґрунтом CO_2 і тим самим отруєння ним зменшується [4].

Пропонується можливість використання фосфогіпсу при рекультивації бурових шламів, які накопичуються й зберігаються безпосередньо на території бурового майданчика.

Буровий шлам характеризується несприятливими хімічними властивостями: у вологому стані набухає, стає в'язким і липким, у сухому – відрізняється злитістю й твердістю, що обумовлено вмістом Na у поглинаючому комплексі. Також буровий шлам має високу лужність, рН середовища його становить 8,68-9,10, що згубно діє на рослини. Для покращення фізико-хімічних властивостей бурового шламу необхідно витіснити поглинений натрій кальцієм, для цього застосовують коагулянти, серед яких досить перспективним є використання фосфогіпсу. Це обумовлене тим, що фосфогіпс, який є відходом, набагато дешевше гіпсу, має більш високу розчинність, а присутність у ньому водорозчинного фосфору підсилює меліоративний ефект [8, 9].

Обґрунтована можливість використання біотехнологічних методів очищення бурових стічних вод, заснованих на біодеструкції органічних забруднювачів. Ефективність очищення значно залежить як від активності мікроорганізмів деструкторів, так і від наявності в середовищі макро- і мікроелементів. Нестача одних з найбільш важливих елементів – фосфору й кальцію є лімітуючим чинником процесу біоочищення бурових стічних вод, тому використання фосфогіпсу як дешевого джерела цих елементів є досить перспективним.

У роботі [11] встановлено, що за три доби культивування в досліді з додаванням 1,0 % мас. фосфогіпсу ступінь біодеструкції карбоксиметилцелюлози та поліакриламід у бурових стічних водах була на 66,8 % вище, ніж у контролі, і склала 99,8%. Але цей спосіб потребує подальшої розробки і удосконалення, адже його реалізація у промислових масштабах вимагає активації біологічної складової процесу з урахуванням всіх фізико-хімічних властивостей біодеградуючого матеріалу.

Іншим напрямком використання фосфогіпсу є його застосування в біотехнологічних процесах знешкодження осадів стічних вод.

В роботі [3] описано спосіб обробки осадів стічних вод у системах анаеробної ферментації з осадженням важких металів у комплексну сульфідну фракцію за допомогою біогенного сірководню – продукту життєдіяльності сульфатредукторів, де фосфогіпс виступає мінеральною добавкою для інтенсифікації розвитку бактеріальної культури (рис. 2). При цьому для інтенсифікації розвитку бактеріальної культури доречним було б використати процес її іммобілізації на мінеральному носії для зменшення виносу біомаси з біореактора та переведення процесу обробки в неперервний режим ферментації, що збільшило б продуктивність біореактора.

Відповідно залишається актуальним питанням удосконалення існуючих та знаходження нових технологічних рішень екологічно безпечної переробки й утилізації відвального фосфогіпсу.

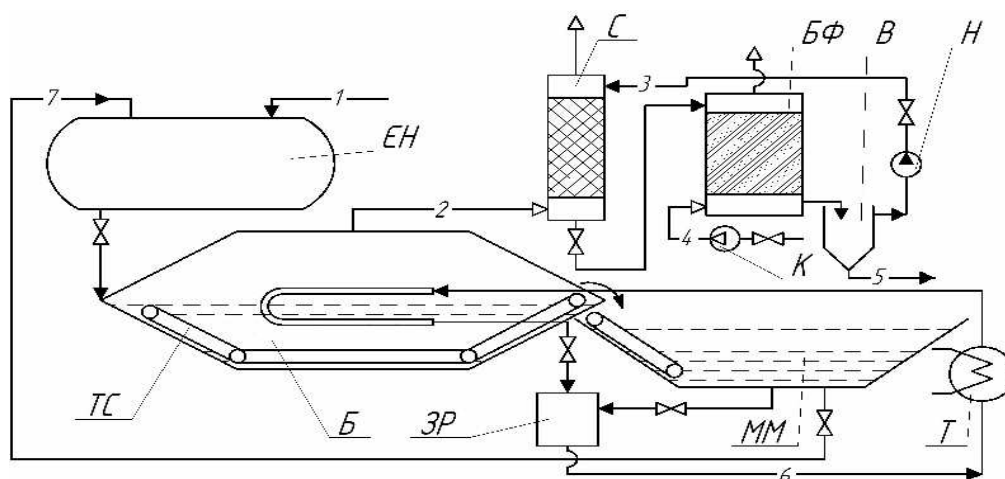


Рис. 2. Принципова технологічна схема біосульфідного знешкодження осадів стічних вод разом з фосфогіпсом [3] (1 – мулові осадки на обробку; 2 – відведення газової фази; 3 – підведення хімічного реагенту; 4 – подача повітря; 5 – відведення біосірки; 6 – циркуляція рідини; 7 – подача частини твердої фракції зброженого мулового осаду як інокуляту; ЕН – ємність накопичувальна; Б – біореактор; ТС – скребковий транспортер; С – скруббер; БФ – біофільтр; К – компресор; В – відстійник; Н – насос; ЗР – ємність-змішувач рідких потоків; Т – теплообмінник; ММ – муловий майданчик)

Постановка завдання та його вирішення. Мета роботи – розроблення технологічних рішень утилізації фосфогіпсу у технологіях захисту навколишнього середовища.

Відповідно до мети було визначено наступні завдання:

- розробити технологічні схеми утилізації фосфогіпсу у технологіях захисту водних екосистем;
- розробити системи біоскрубера для очищення газових потоків з використанням гранул фосфогіпсу.

Виклад основного матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Розробка технологічних рішень утилізації фосфогіпсу у технологіях захисту водних екосистем. Розроблена технологічна схема споруд комплексного очищення стоків та мулових осадів з утилізацією фосфогіпсу представлена на рис. 3.

Пуск установки очищення стічних вод та мулових осадів передбачає наявність «стартової» кількості біомаси мікроорганізмів-деструкторів в якості інокуляту. Основні етапи пускового періоду: культивування необхідних еколого-трофічних груп в лабораторних умовах у ферментерах; сепарація життєздатної біомаси; внесення та іммобілізація необхідних еколого-трофічних груп мікроорганізмів на анаеробних стадіях (B_2 та B_3) і аеробній (B_1), що може виступати як окремий резервуар аеротенку, допускається інокуляція активного мулу з діючих міських очисних споруд; заповнення стоками та їх осадами та стимулювання розвитку асоціації мікроорганізмів сформованої в умовах автоселекції за допомогою внесення дигідратного фосфогіпсу; вихід установки на проточний режим.

Розроблена технологічна схема включає трьохстадійне очищення з високонавантаженою першою стадією аеробного окиснення з віком мулу 0,5 доби і гідравлічним часом перебування 0,45 години. Ефективність видалення ХСК на цій стадії може досягти 32–50 %. При короткому часі перебування 0,45 години органічна речовина тільки сорбується на активний мул, але не встигає поглинатися клітиною, що сприятливо позначається на подальшій газогенерації в анаеробних біореакторах (B_2 та B_3).

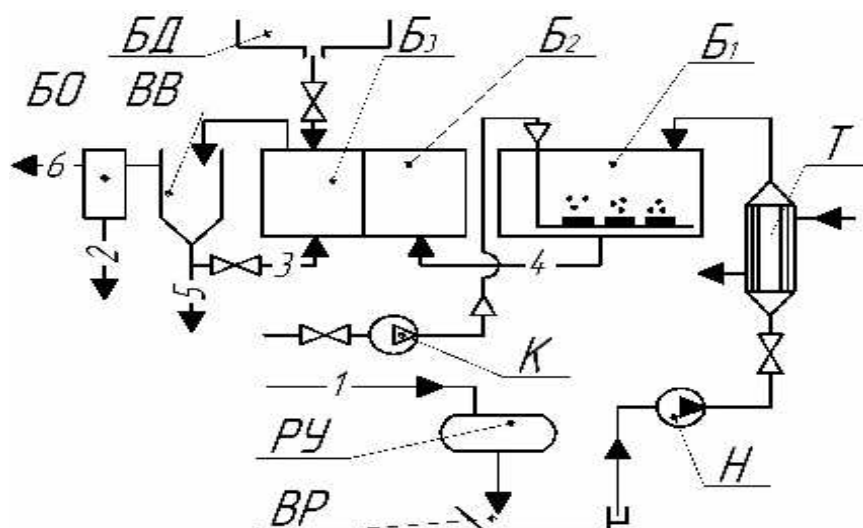


Рис. 3. Технологічна схема процесу очищення стоків та їх осадів з використання дигідратного фосфогіпсу

(1 – вхідний потік на очищення; 2 – осад, що містить осаджені сполуки фосфору; 3 – рециклінг частки зброджених мулових осадів; 4 – нітратний оборотний цикл; 5 – зброджений муловий осад на утилізацію; 6 – очищена рідка фаза; РУ – резервуар-усереднювач; БР – радіальний відстійник; Н – насос; Т – теплообмінник; Б₁ – аеробний біореактор; Б₂ – анаеробний біореактор для здійснення стадії денітрифікації; Б₃ – анаеробний біореактор для здійснення стадії дефосфотації в умовах сульфатредукції з виділенням сполук фосфору; БД – бункер-дозатор дигідратного фосфогіпсу; ВВ – вторинний відстійник; БО – бункер осадження для реагентного видалення фосфору із рідкої фази; К – компресор)

Стадія денітрифікації, що здійснюється в Б₂, відбувається з підтриманням віку активного мулу на рівні 5-10 діб в залежності від температури. При проектуванні час гідравлічного утримання приймають 0,5–2 доби у мезофільних умовах та 1-3 доби у психрофільних умовах. Рівень розчиненого кисню підтримується від 0,1 до 0,97 мг/дм³.

Слід зауважити, що існує така залежність: чим більший час гідравлічного утримання субстрату (сирого МО) в анаеробних біореакторах, тим вище потенційний вихід ХСК речовини, що розчиняється.

На стадії дефосфотації в умовах сульфатредукції, що здійснюється в Б₃, зброджуються мулові осади з попередніх стадій біологічного очищення. При цьому час утримання становить 10 діб (включаючи початковий період індукції не менше 5 діб) для досягнення показників розпаду органічної речовини до 65% і ступенем виділенням фосфат-аніонів не менше 70%. Питомий рівень газоутворення становить від 650 дм³ / г бензольної речовини.

Критерій ефективності іммобілізації мікробних клітин, заснований на повторному збільшенні виходу біомаси вільноплаваючих клітин, свідчить про насичення носія із фосфогіпсу біомасою мікроорганізмів-деструкторів. Слід зауважити, що велика частина мікроорганізмів закріплюється в перші 5 діб, а потім зі збільшенням часу контакту ступінь адсорбції клітин різко знижується. При цьому відбувається утилізація фосфогіпсу близько 6,5 кг/ м³ осадів, що подаються на очищення.

Технологія очищення стоків та мулових осадів, що включає аеробно-анаеробний процес конверсії, забезпечує просторову сукцесію мікроорганізмів і трофічний ланцюг гідробіонтів із залученням техногенних мінеральних ресурсів (фосфогіпсу) для стимулювання розвитку необхідних еколого-трофічних груп.

Для контролю ефективності процесу очищення здійснюється контроль таких показників: температура стоків на вході в анаеробні біореактори; значення рН середовища на вході і виході анаеробних і аеробного біореакторів; концентрація розчиненого кисню (рО₂) на вході і виході у аеробному біореакторі; значення окислювально-відновного потенціалу (Eh) з анаеробного біореактора; сигналізація про роботу насосних агрегатів

станції; сигналізація рівнів рідини в ємностях; концентрація фосфатів (PO_4^{3-}) на вході та виході із анаеробних і аеробного біореакторів. Очищена вода після осадження фосфатів у БО може збиратися у відсіки-накопичувачі і самопливом надходить в насосну очищених стоків міських очисних споруд.

Для покращення умов життєдіяльності бактерій і, відповідно, покращення ефекту очищення стоків та/або мулових осадів, в аеробний біореактор передбачена подача повітря від повітродувок для насичення (аерації) стоків киснем повітря.

Подача повітря здійснюється в ерліфтну зону кожної секції через перфоровані трубопроводи. Насичені киснем стоки циркулюють через робочу зону B_1 на аеробній стадії і очищаються бактеріями, іммобілізованими на волокнистих носіях. Аерація B_1 здійснюється за рахунок ежекції повітря з атмосфери за допомогою K і газів, що відходять із B_2 . Анаеробні біореактори (B_2 та B_3) батарейного типу. При цьому вони складаються з послідовно з'єднаних між собою секцій (не менше 23 кожний), режим руху рідини – самотічний.

Секція біореактора є вертикальною трубою $d=350$ мм (матеріал – пластмаса), висотою 4,5 м. У кожену секцію B_3 відбувається автоматичне підведення фосфогіпсу із БД. У верхній частині блоків змонтовані газовідвідні колектори, які з'єднані з секціями реактора. Ерліфтною зоною в біореакторах є простір між стінками біореакторів і захисними щитами, виконаними з листового полістиролу. При циркуляції активного мулу в B_3 відбувається його коагуляція разом з частками фосфогіпсу з утворенням матриксу, що дозволяє зменшити втрати активної біомаси із системи.

Показники ефективності очищення у системі B_1 - B_2 - B_3 можуть досягти за ХСК – 95,5%, за фосфатами – 99,5%, при цьому, в анаеробних стадіях (денітрифікації та дефосфотації в умовах сульфатредукції) руйнується не менше 60% за ХСК та 70% фосфатів.

Слід відмітити загальну закономірність, що при вмісті в стоках та осаді переважно нітратів доцільно спочатку передбачити анаеробні стадії (B_2 - B_3), в які органічний субстрат буде окислюватися за рахунок нітратів з виділенням вільного азоту, а стадію аерації - для остаточного окислення органічних речовин.

Розробка системи біоскрубера для очищення газових потоків з використанням гранул фосфогіпсу. На рис. 4 наведена розроблена технологічна схема здійснення способу очищення газового потоку від сполук сірки в системі біоскрубера.

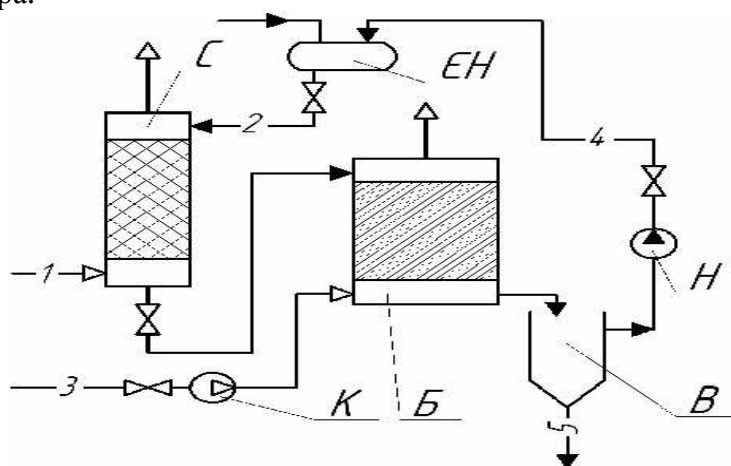
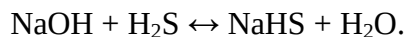
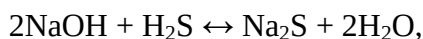


Рис. 4. Система біоскрубера для очищення газових потоків з використанням гранул фосфогіпсу (1 – надходження газового потоку на очищення; 2 – подача розчину реагенту (NaOH або Na_2CO_3); 3 – подача повітря; 4 – рециклінг відновленого реагенту; 5 – видалення біосірки; С – скруббер; ЄН – ємність накопичувальна системи зрощення; Б – аеробний біореактор; К – компресор; В – відстійник; Н – насос)

Газовий потік подається через патрубок у С, в який надходить розчин NaOH або Na₂CO₃ згори в напрямі, протилежному до подачі газу для розчинення домішок, що в ньому містяться.

Контакт газового потоку з розчином здійснюється у проточному режимі з абсорбцією H₂S за реакціями:



При цьому розчин подається через систему зрошування з ЄН. Потім рідина із С надходить в Б, що містить іммобілізовану на мінеральному завантаженні із фосфогіпсу біомасу тіобактерій, де відбувається окиснення сірководню з утворенням біосірки і регенерація лужної рідини, яка повертається в С для абсорбції наступної порції сірководню. За допомогою К відбувається надходження повітря до системи аерації. Потім рідина із аеробного біореактора через трубопровід надходить у В, де відбувається розділення біосірки і слабколужного розчину.

Біосірка з цієї суспензії висушується і підлягає утилізації. Видалений розчин трубопроводом перекачується в ЄН системи зрошення за допомогою Н.

Висновки. Розроблено технологічну схему реалізації процесу утилізації фосфогіпсу в технологіях захисту водних екосистем. Технологія очищення стоків та мулових осадів, що містить аеробно-анаеробний процес конверсії, забезпечує просторову sukcesію мікроорганізмів і трофічний ланцюг гідробіонтів із залученням техногенних мінеральних ресурсів (фосфогіпсу) для стимулювання розвитку необхідних еколого-трофічних груп. Крім того, для реалізації системи очищення газової фази із анаеробного блоку дефосфатації стоків та мулових осадів, було розроблено аеробну установку із завантаженням гранул фосфогіпсу, що дозволяє забезпечити розширення можливостей утилізації фосфогіпсу, як фільтруючого мінерального завантаження, в технологіях захисту атмосферного повітря.

Подальшим напрямком досліджень буде визначення техніко-економічних показників реалізації комплексної технології утилізації фосфогіпсу при аеробно-анаеробному очищенні стоків та мулових осадів з отриманням ряду корисних екологічно безпечних продуктів.

Література

- 1 Мальований М. С. Шляхи уникнення екологічної загрози від нагромаджень фосфогіпсу / М. С. Мальований, Б. С. Свідовий, Л. І. Марченко, С. Б. Большаніна, М. М. Тимошенко // *Екологія и промышленность*. – 2012. – № 1. – С. 94-99.
- 2 Іващенко Т. Г. Екологічно безпечні процеси утилізації фосфогіпсу і конверторного шлаку : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 21.06.01 – Екологічна безпека / Т. Г. Іващенко. – Київ, 2010. – 24 с.
- 3 Черниш Є. Ю. Утилізація осадів стічних вод сульфідогеною асоціацією мікроорганізмів: автореферат ... канд.техн.наук : 21.06.01 – екологічна безпека / Черниш Є. Ю. – Суми, 2014. – 23 с.
- 4 Белюченко И. С. Использование фосфогипса для рекультивации загрязненных нефтью почв / И. С. Белюченко, Е. П. Добрыднев, Е. И. Муравьев, О. А. Мельник, Д. А. Славгородская, Е. В. Терещенко // *Тр. КубГАУ*. – 2008. – №3(12). – С. 72 – 77.
- 5 Скипин Л.Н., Возможности рекультивации буровых шламов и солонцов с использованием фосфогипса / Л. Н. Скипин, Н. В. Храмцов, С. А. Гузеева, В. С. Петухова // *Аграрный вестник Урала*. – 2013. – № 6 (112). – С. 71-73.
- 6 Yakovlev A. S. Ecological evaluation of artificial soils treated with phosphogypsum / A. S. Yakovlev, M. A. Kaniskin, V. A. Terekhova // *Eurasian Soil Science*. – 2013. – Т.46. – № 6. – С. 697 – 703.
- 7 Шайдуллина И. А. Рекультивация нефтезагрязненных почв на примере выщелоченных черноземов Татарстана / И. А. Шайдуллина, А. Х. Яппаров, И. А. Дегтярева, В. З. Латыпова, Э. Ш. Гадиева // *Нефтяное хозяйство*. – 2015. – № 3. – С. 102 - 105.
- 8 Скипин Л. Н. Возможности рекультивации буровых шламов и солонцов с использованием фосфогипса / Л. Н. Скипин, Н. В. Храмцов, С. А. Гузеева, В. С. Петухова // *Аграрный вестник Урала*. – 2013. – № 6 (112). – С. 71 – 73.

9 Калинина О. В. Рекультивация земель, загрязненных мазутом. / О. В. Калинина // Экологический Вестник Северного Кавказа. – 2009. – Т.5, № 3. – С. 86 – 87.

10Калинина О. В. Использование фосфогипса для рекультивации загрязненных мазутом почв // Экологический вестник Северного Кавказа. – 2011. – Т. 7. – № 1. – С. 86 – 88.

11Барахнина В. Б. Исследование возможности использования фосфогипса при биоочистке буровых сточных вод. / В. Б. Барахнина, А. А. Хафизова, И. Р. Киреев // Башкирский химический журнал. – 2011. – № 2. – С. 90 – 92.

© Є. Ю. Черниш,
Р. А. Васькін,
О. М. Яхненко

*Надійшла до редакції 18 жовтня 2017 р.
Рекомендував до друку
докт. техн. наук Я. М. Семчук*

ЗБАЛАНСОВАНЕ РЕСУРСОКОРИСТУВАННЯ

УДК 504:32

Н. В. Внукова, Г. Є. Мацкевич
Харківський національний
автомобільно-дорожній університет

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ В УКРАЇНІ В КОНТЕКСТІ КОНЦЕПЦІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Розглянуті тенденції національної політики України в сфері ефективного використання природних ресурсів в аспекті управління сталим розвитком. Виділені проблемні питання та протиріччя державної екологічної політики. Визначені дії в напрямі реалізації ефективного рівня використання природно-ресурсного потенціалу для забезпечення сталого розвитку на національному рівні.

Ключові слова: природні ресурси, охорона навколишнього природного середовища, державна екологічна політика, сталий розвиток.

Tendencies of the national policy of Ukraine in the sphere of effective use of natural resources in the aspect of sustainable development management are considered. Problematic issues and contradictions of state environmental policy are selected. Actions have been identified for the effective use of the potential of natural resources to ensure sustainable development at the national level.

Key words: natural resources, environmental protection, state environmental policy, sustainable development.

Постановка проблеми. В умовах, коли попит на ресурси зростає, а їх кількість неухильно зменшується, ефективність функціонування виробничих систем можливо забезпечити лише завдяки раціональному використанню ресурсів та їх економії. Своєрідність географічного положення України, її природних умов, ресурсного та наукового потенціалу, стану економіки і трансформаційних процесів у суспільстві, пов'язаних із зміною орієнтирів соціального розвитку, породжує чимало проблем на шляху економічного зростання [4].

Відсутність ефективної системи управління в сфері охорони навколишнього природного середовища та повільне проведення структурних реформ і модернізації технологічних процесів в умовах зростання національної економіки призводить до збільшення рівня забруднення та зумовлює підтримку старих, неефективних підходів до використання енергетичних і природних ресурсів [9].

В Україні основні завдання та напрями державної екологічної політики визначено Законом України "Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року (далі – Стратегія)" від 21 грудня 2010 року № 2818-VI.

Стратегічною метою національної екологічної політики є стабілізація і поліпшення стану навколишнього природного середовища України шляхом поетапного досягнення її цілей, гарантування екологічно безпечного природного середовища для життя і здоров'я населення та впровадження екологічно збалансованої системи природокористування та збереження природних екосистем [8].

Екологічна політика держави передбачає комплекс заходів, спрямованих на охорону навколишнього природного середовища [10]. На загальнонаціональному рівні екологічна політика є одним з найважливіших напрямів політики держави, як

внутрішньої, так і зовнішньої. Цей напрям пов'язаний з відтворенням природних ресурсів, забезпеченням стабільності природоохоронної системи та динамічності її розвитку.

Досвід передових країн свідчить, що ефективно управління природоохоронною діяльністю, а також інтеграція екологічної політики в усі галузі економіки дає можливість для подальшого соціально-економічного розвитку з мінімальним впливом на навколишнє природне середовище [14]. Цей досвід демонструє, що сталий розвиток держави неможливий без екологічного складника.

Всесвітня Конференція ООН з питань навколишнього природного середовища і розвитку ухвалила декларацію та визнала концепцію сталого розвитку домінантною ідеологією цивілізації у XXI столітті.

Сталий соціально-економічний розвиток будь-якої країни означає таке функціонування її господарського комплексу, коли одночасно задовольняються зростаючі матеріальні і духовні потреби населення, забезпечується раціональне та екологічно безпечне господарювання і вискоєфективне збалансоване використання природних ресурсів, створюються сприятливі умови для здоров'я людини, збереження і відтворення навколишнього природного середовища та природно-ресурсного потенціалу суспільного виробництва [8].

Реалізація програми сталого розвитку в Україні має базуватися на нових методиках збору інформації, передусім комплексного моніторингу, стилі планування та керування, на нових законодавчих актах, що ґрунтуються на розумних економічних, соціальних і природоохоронних принципах, продуманих цінах на природні ресурси, розумній податковій та економічній політиці тощо [5].

Вибір найбільш ефективних шляхів державного регулювання у сфері охорони навколишнього природного середовища нашої країни є дуже актуальним у реаліях сьогодення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні теоретичні дослідження щодо ідеї пошуку раціонального суспільного розвитку активізуються все більше. Проблемою сталого розвитку опікуються світові лідери, їй присвячені сотні урядових і міжурядових програм, вона багато років стоїть на порядку денному найвпливовіших міжнародних організацій [11]. Різні аспекти проблеми стають предметом наукових дискусій.

Теоретичні основи та проблеми сталого розвитку у своїх працях досліджували як вітчизняні, так і закордонні науковці, а саме: Б. М. Данилишин, С. І. Дорогунцов, В. С. Міщенко [7], В. Я. Шевчук [3], Л. Г. Мельник [6], В. М. Трегобчук [2], Г. Є. Дейлі [13] та ін.

Мета статті. Дослідження сучасних тенденцій національної політики України в сфері ефективного використання природних ресурсів та визначення відповідних ініціатив в напрямі реалізації ефективного рівня використання природно-ресурсного потенціалу для забезпечення сталого розвитку на національному рівні.

Виклад основного матеріалу. Відповідно до Закону України "Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року (далі – Стратегія)" від 21 грудня 2010 року № 2818-VI, основними принципами національної політики України в сфері охорони навколишнього природного середовища та сталого використання природних ресурсів є:

- паритетність економічної, екологічної та соціальної складових сталого розвитку; врахування екологічних наслідків під час прийняття управлінських рішень;
- запобігання негативних впливів на довкілля на здоров'я людини на основі комплексного аналізу та передбачення ризиків, ґрунтованих на результатах державної екологічної експертизи та державного моніторингу навколишнього природного середовища;
- забезпечення екологічної безпеки і підтримання екологічної рівноваги на території України;

- відповідальність нинішнього покоління за збереження довкілля на благо прийдешніх поколінь;
- участь громадськості у формуванні та реалізації екологічної політики;
- невідворотність відповідальності за порушення законодавства про охорону навколишнього природного середовища;
- пріоритетність принципів "забруднювач навколишнього природного середовища та користувач природних ресурсів платять повну ціну";
- відповідальність органів виконавчої влади за доступність і достовірність офіційної екологічної інформації [8].

Сьогодні екологічні проблеми набули глобального характеру. Це обумовлено тим, що під час планування та реалізації технічного прогресу не були взяті до уваги екологічні основи людського життя та навколишнього середовища. Тому необхідно сформувати свою екологічну політику, відрегулювати планове використання природних ресурсів і забезпечити фінансові ресурси для їх відновлення.

Зважаючи на це, можна визначити, що одним з інструментів реалізації національної екологічної політики є оцінювання впливу стратегій, програм, планів на стан навколишнього природного середовища, що передбачає удосконалення екологічного законодавства в частині застосування стратегічної екологічної оцінки як обов'язкового інструменту стратегічного планування розвитку соціально-екологічної політики на національному, регіональному та місцевому рівнях [12].

Реалізація екологічної політики потребує ефективного функціонування системи законодавства у сфері охорони навколишнього природного середовища, спрямованого на досягнення національних пріоритетів. Основними вимогами до такого законодавства повинні бути його відповідність Конституції України, наближення до відповідних директив Європейського Союзу, забезпечення впровадження багатосторонніх екологічних угод (конвенцій, протоколів тощо), стороною яких є Україна, соціальна прийнятність, реалістичність, економічна ефективність.

До основних причин, що не дозволяють перейти до повноцінної екологічної політики в Україні, можна віднести:

- формування екологічної політики владними структурами України відбувається, значною мірою, під впливом міжнародного співтовариства та вітчизняної громадськості;
- відсутність екологічної складової в політичних програмах владної та парламентських опозиційних партій;
- необхідність значних ресурсів для реалізації природоохоронних заходів [1].

Аналізуючи ефективність реалізації державної екологічної політики слід відзначити, що екологічна складова ще не стала обов'язковою частиною розроблених державних цільових програм, Національного плану дій з охорони навколишнього природного середовища на 2011–2015 роки тощо. Соціально-економічні реформи в країні також відбуваються без достатнього врахування ресурсного чинника, що призводить до подальшого послаблення екологічної політики та інституцій, сповільнення необхідних змін у законодавстві, нівелювання дієвості контролю за дотриманням екологічних вимог та відповідальності в сфері ресурсокористування. Усі ці фактори зумовлюють істотне зниження ефективності управління в галузі охорони довкілля на державному та регіональному рівнях.

Аналіз сучасних тенденцій природокористування свідчить, що природо-ресурсний менеджмент як стратегічний вектор та складова сучасного екологічного управління залишився без будь яких сутнісних наповнень.

Так, на державному рівні недостатньо ще приділяється уваги таким чинникам як:

- інституційні механізми забезпечення збалансованого використання природних ресурсів;
- посилення важелів відповідальності за нераціональне використання та відображення економічних механізмів їх стимулювання в законах прямої дії;

- розробка організаційно-економічних заходів щодо стимулювання процесу ресурсозбереження на різних ієрархічних рівнях;
- розмежування функцій по регулюванню процесу ефективного використання природних ресурсів з відповідним фінансовим наповненням бюджетів всіх рівнів;
- законодавчо-нормативна основа формування та стягування природо-ресурсної ренти та її розподілу між різними гілками влади.

Таким чином, можна констатувати, що поки що аспекти природо-ресурсного менеджменту залишаються чітко не визначеними в системі екологічного управління.

Результатом впровадження природо-ресурсного менеджменту в систему еколого-економічного управління стане більш раціональний перерозподіл ресурсних потоків, що каталізуватиме збалансовані інвестиційні показники та розвиток економічного інструментарію щодо забезпечення вирішення екологічних проблем регіонів.

Щодо регіональної екологічної політики, Стратегією та Національним планом дій з охорони навколишнього природного середовища визначена необхідність її удосконалення. Зокрема, розроблення методології та підготовка місцевих планів дій з охорони навколишнього природного середовища, розроблення або перегляд і схвалення регіональних природоохоронних програм, впровадження екологічної складової в стратегічні документи розвитку міст та регіонів, розроблення відповідної нормативної бази тощо. Регіональні плани дій з охорони навколишнього природного середовища спрямовані на екологічні цілі, які мають бути досягнуті за допомогою інструментів і механізмів, адекватних національним умовам. Розроблення і впровадження регіональних і місцевих планів дій суттєво підвищує рівень екологічного управління на місцях.

Для підвищення ефективності регіональної політики у сфері охорони навколишнього природного середовища, місцеві органи самоврядування та місцеві органи виконавчої влади мають вживати заходів щодо виконання в повному обсязі завдань передбачених Національним планом дій з охорони навколишнього природного середовища та приведення у відповідність до положень Стратегії та Національного плану дій з охорони навколишнього природного середовища діючих програм з охорони навколишнього середовища та програм соціально-економічного розвитку.

Для забезпечення гармонізації економічного та екологічного розвитку необхідний оптимальний розподіл ресурсів виробництва, управління розвитком передбачає поєднання ринкових механізмів і важелів державного регулювання у сфері природокористування, інтеграції економічної, соціальної та екологічної політики. Важливим механізмом є впровадження моделі сталого споживання та виробництва в національні плани розвитку, законодавство і систему інструментів регулювання, а також імплементація процедур стратегічної екологічної оцінки та оцінки впливу на довкілля як найважливіших інструментів планування економічного розвитку на принципах екологічної стійкості.

Таким чином, на сучасному етапі необхідна розробка відповідних ініціатив в напрямі реалізації ефективного рівня використання природно-ресурсного потенціалу з урахуванням певних обмежень, що існують в територіальному розрізі. До таких належить, зокрема:

- законодавчо задекларований статус території (як то рекреаційний, природно заповідний тощо);
- своєрідність та унікальність природно-ресурсного потенціалу;
- рівень розвитку екологічної інфраструктури;
- обмеженість майнових прав;
- рівень екологічної свідомості та менталітету місцевої громади;
- дієвість інструментів екологічного управління на місцевому рівні.

Причинами, стимулюючими до розвитку ресурсного менеджменту можна вважати:

- загрозливий стан використання та деградація, що поглиблює природних ресурсів;

- недієвість судової системи стосовно захисту від надмірної експлуатації природно-ресурсного потенціалу, в тому числі на регіональному рівні;
- недостатня розвиненість законодавчо-нормативного базису щодо регламентації та моделей раціонального природокористування на державному рівні;
- відсутність відповідних державних інституцій які забезпечують розвиток інновацій та трансфер екологічно безпечних технологій;
- підвищення ролі суспільних інститутів та екологічної освіти [4].

Враховуючи вищезазначене, можна стверджувати, що необхідно більш чітко сформувати ідеологічну платформу природно-ресурсного менеджменту.

Висновки. Досліджені сучасні тенденції національної політики України в сфері ефективного використання природних ресурсів та визначені відповідні ініціативи в напрямі реалізації ефективного рівня використання природно-ресурсного потенціалу для забезпечення сталого розвитку на національному рівні. Визначено, що важливим завданням екологічної політики України на майбутнє є збалансованість соціально-економічних потреб та збереження навколишнього природного середовища. Практична реалізація європейських екологічних норм і стандартів має стати основою для розвитку ефективного екологічного партнерства між державою, суб'єктами господарювання та громадськістю.

Встановлено, що, незважаючи на особливу гостроту екологічних проблем [4], парадигма збалансованого розвитку поки не набула достатнього поширення в Україні, а ухвалені на міжнародному рівні нормативно-правові акти не знайшли належного відображення в інституційному розвитку, державній політиці, національних програмах і господарській практиці. Тому стратегічною метою формування та реалізації державної екологічної політики України в сучасних умовах має стати стабілізація і поліпшення стану навколишнього природного середовища шляхом інтеграції державної екологічної політики до соціально-економічного розвитку України. А це має забезпечити гарантовані Конституцією України права населення на екологічно безпечне навколишнє середовище, екологічно збалансовану систему природокористування та сприяти збереженню природних екосистем.

Література

- 1 Від практики реалізації природоохоронних заходів до екологічної політики в Україні: шляхи і проблеми/В.Г.Потапенко, А.Б.Качинський [та ін.]; за ред. Ю.М.Скалецького, В.Г.Потапенко. – К.: НІСД, 2011. – 31 с.
- 2 Концепція сталого розвитку для України/В.Трегобчук//Вісник НАН України.-2002.-№ 2.- С. 31-41.
- 3 Макроекономічні проблеми сталого розвитку/В.Я.Шевчук.-К.:Геопринт, 2006.-200 с.
- 4 Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2015 році. – К.: Міністерство екології та природних ресурсів України, ФОП Грінь Д.С. – 2017. – 308 с.
- 5 Підготовка вчителів до викладання питань сталого розвитку: Навчально-методичні матеріали для викладачів вищих педагогічних навчальних закладів та системи післядипломної педагогічної освіти//Посібник/О.І.Пометун та ін. За ред. О.І.Пометун. – Київ : Педагогічна думка, 2015. – 120 с.
- 6 Поняття про сталий розвиток/Л.Г.Мельник//Основи стійкого розвитку.-Суми: Університетська книга, 2007.-С. 411-442.
- 7 Природно-ресурсний потенціал сталого розвитку України/Б.М. Данилишин, С.І.Дорогунцов, В.С.Міщенко, В.Я.Коваль, О.С.Новоторов, М.М.Паламарчук.. – Київ, РВПС України. 1999. – 716 с.
- 8 Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року : Закон України від 21.12.2010 р. № 2818-VI [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua>.
- 9 Про схвалення Концепції національної екологічної політики України на період до 2020 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 17 жовтня 2007 р. N 880-р [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua>.

10 Про затвердження Національного плану дій з охорони навколишнього природного середовища на 2011 – 2015 роки : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 25.05.2011 р. № 577-р [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua>.

11 Сталий розвиток суспільства: навч. посіб./А.Садовенко, Л.Масловська, В.Середа, Т.Тимочко.-2 вид. – Київ, 2011. – 392 с.

12 Стратегічна екологічна оцінка: навч. посіб./Г.Б.Марушевський; Нац. академія держ. управління при Президенті України. – Київ: К.І.С, 2014.– 88 с.

13 Сталий розвиток: визначення, принципи, політики/Г.Е.Дейлі//Науковий вісник: екологізація економіки як інструмент сталого розвитку в умовах конкурентного середовища. Львів: НЛТУ. – 2005, вип. 15.6. – С.27-39.

14 Сучасний стан та перспективи розвитку української системи технічного регулювання в галузі охорони навколишнього природного середовища, екологічної безпеки та раціонального використання природних ресурсів/О.І.Бондар, В.Є.Барановська, С.В.Берзіна//Екологічні науки: наук.- практ. журн./голов. ред.О.І.Бондар.- Київ: ДЕА, 2012.-№ 2.-С. 68-77.

© Н. В. Внукова,
Г. Є. Мацкевич

*Надійшла до редакції 13 листопада 2017 р.
Рекомендував до друку
докт. техн. наук Я. О. Адаменко*

УДК 620.91.97

*М. М. Тимків, Д. В. Касіяничук
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

АНАЛІЗ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ТЕРИТОРІЇ ІВАНО-ФРАНКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Стратегія розвитку енергетичної безпеки держави базується на диверсифікації її ресурсів. Використання відновлювальних джерел енергії у відповідності до кліматичних умов дозволить вирішити проблему енергозабезпечення та покращить екологічний стан навколишнього середовища у цілому.

Ключові слова: відновлювальні джерела енергії, потенціал, сонячна енергія, вітрова енергія, енергія біомаси.

The strategy of development of state energy security is based on the diversification of its resources. Using renewable energy sources in accordance with climatic conditions will solve the problem of energy supply and improve the environmental status of the environment as a whole.

Key words: renewable energy sources, potential, solar energy, wind energy, biomass energy.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими або практичними завданнями. Внесок відновлюваних джерел енергії до загального виробництва електроенергії в світі становить майже 23%, при цьому основна частина – це гідроенергія – 16,6%. З інших ВДЕ найбільша частка у вітроенергії – 3,1%, наступна біомаса – 1,8%. Одними із найбільших виробників електроенергії з ВДЕ є 7 країн: Китай, США, Німеччина, Італія, Іспанія, Японія, Індія (рис. 1).

Сьогодні головним джерелом енергії в Україні служить викопне паливо, спалювання якого руйнує навколишнє середовище і викликає зміну клімату. У зв'язку із дефіцитним станом енергетичної сировини та загальним погіршенням екологічної ситуації

10 Про затвердження Національного плану дій з охорони навколишнього природного середовища на 2011 – 2015 роки : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 25.05.2011 р. № 577-р [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua>.

11 Сталий розвиток суспільства: навч. посіб./А.Садовенко, Л.Масловська, В.Середа, Т.Тимочко.-2 вид. – Київ, 2011. – 392 с.

12 Стратегічна екологічна оцінка: навч. посіб./Г.Б.Марушевський; Нац. академія держ. управління при Президенті України. – Київ: К.І.С, 2014.– 88 с.

13 Сталий розвиток: визначення, принципи, політики/Г.Е.Дейлі//Науковий вісник: екологізація економіки як інструмент сталого розвитку в умовах конкурентного середовища. Львів: НЛТУ. – 2005, вип. 15.6. – С.27-39.

14 Сучасний стан та перспективи розвитку української системи технічного регулювання в галузі охорони навколишнього природного середовища, екологічної безпеки та раціонального використання природних ресурсів/О.І.Бондар, В.Є.Барановська, С.В.Берзіна//Екологічні науки: наук.- практ. журн./голов. ред.О.І.Бондар.- Київ: ДЕА, 2012.-№ 2.-С. 68-77.

© Н. В. Внукова,
Г. Є. Мацкевич

*Надійшла до редакції 13 листопада 2017 р.
Рекомендував до друку
докт. техн. наук Я. О. Адаменко*

УДК 620.91.97

*М. М. Тимків, Д. В. Касіяничук
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

АНАЛІЗ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ТЕРИТОРІЇ ІВАНО-ФРАНКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Стратегія розвитку енергетичної безпеки держави базується на диверсифікації її ресурсів. Використання відновлювальних джерел енергії у відповідності до кліматичних умов дозволить вирішити проблему енергозабезпечення та покращить екологічний стан навколишнього середовища у цілому.

Ключові слова: відновлювальні джерела енергії, потенціал, сонячна енергія, вітрова енергія, енергія біомаси.

The strategy of development of state energy security is based on the diversification of its resources. Using renewable energy sources in accordance with climatic conditions will solve the problem of energy supply and improve the environmental status of the environment as a whole.

Key words: renewable energy sources, potential, solar energy, wind energy, biomass energy.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими або практичними завданнями. Внесок відновлюваних джерел енергії до загального виробництва електроенергії в світі становить майже 23%, при цьому основна частина – це гідроенергія – 16,6%. З інших ВДЕ найбільша частка у вітроенергії – 3,1%, наступна біомаса – 1,8%. Одними із найбільших виробників електроенергії з ВДЕ є 7 країн: Китай, США, Німеччина, Італія, Іспанія, Японія, Індія (рис. 1).

Сьогодні головним джерелом енергії в Україні служить викопне паливо, спалювання якого руйнує навколишнє середовище і викликає зміну клімату. У зв'язку із дефіцитним станом енергетичної сировини та загальним погіршенням екологічної ситуації

виникає потреба у використанні так званих відновлюваних екологічно чистих джерел енергії – вітру, сонця, земних глибин, біогазу, біодизельного палива. Основними проблемами енергетики регіону є:

- надмірна енергомісткість продукції промислових підприємств;
- низька ефективність та зношеність ТЕЦ і котелень в системах тепло генерації;
- критична зношеність мереж систем централізованого тепlopостачання у містах;
- відсутність системного підходу до споживання енергоресурсів в побуті.

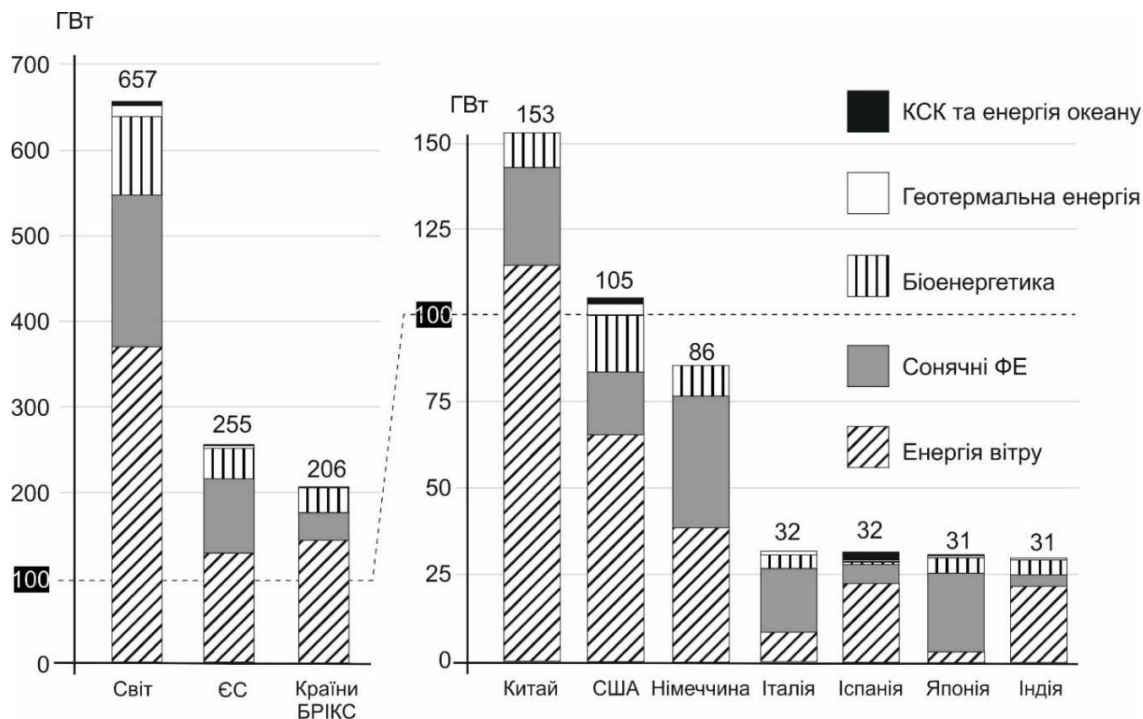


Рис. 1. Встановлена електрична потужність ВДЕ у світі без врахування гідроенергії (2014 р.) (КСК – концентруючі сонячні колектори, ФЕ – фотоелектричні елементи) [1]

Вичерпність традиційних джерел енергії обумовило увагу до збільшення використання відновлювальних джерел енергії, які в законодавстві багатьох країн кваліфікуються як альтернативні джерела, з огляду на те, що вони є заміником (альтернативою) найбільш використовуваних, проте обмежених традиційних джерел енергії [2].

Для стимулювання розвитку відновлюваної енергетики, використання відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива в Україні у Податковому і Митному кодексах України містяться положення, якими передбачається:

- зниження податку на землю для підприємств відновлюваної енергетики;
- прибутку від основної діяльності компаній у сфері енергетики, які виробляють електроенергію з відновлюваних джерел;
- прибутку підприємств, отриманого від діяльності з одночасного виробництва електричної і теплової енергії та/або виробництва теплової енергії з використанням біологічних видів палива;
- прибутку виробників техніки, обладнання та устаткування для виготовлення та реконструкції технічних і транспортних засобів, які споживають біологічні види палива.

Оскільки Україна, зокрема Івано-Франківська область, має великі можливості для підвищення впливу альтернативних джерел енергії, а саме встановлення сонячних панелей та колекторів, вітрових установок, особливо в гірській місцевості, де середньорічна швидкість вітру становить 3,6 м/с (за даними Українського гідрометеорологічного центру на ст. Пожижевська), а також там де відсутнє централізоване електропостачання за умови достатнього вітрового потенціалу. Саме це і сформуло актуальність теми дослідження [3].

Метою статті є геоінформаційний аналіз потенціалу відновлюваних джерел енергії на території Івано-Франківської області.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні роки дослідження використання відновлювальних джерел енергії в Україні, а також доцільності розвитку альтернативної енергетики суттєво зросла. Вивченням даного питання займалися такі вчені, як: Височанський В. [4], Єрмілов С. [5], Ясенецький В., [6] Матвійчук Л. Ю. [7] Вахновська О. [8] та ін.

Викладення основного матеріалу досліджень. Основними напрямками використання відновлюваних джерел енергії в Україні є: вітрова енергія, сонячна енергія, енергія річок, енергія біомаси, геотермальна енергія, енергія навколишнього природного середовища з використанням теплових насосів. У даній роботі представлено результати дослідження тільки трьох основних типів ВДЕ: вітрова енергія, сонячна енергія та енергія біомаси. На основі зібраної статистичної інформації, можна стверджувати, що Івано-Франківська область належить до енергодефіцитних, з коефіцієнтом забезпеченості 0,45. Зважаючи на значне вичерпання покладів нафти та природного газу, а також спрямованість області на розвиток туристично-рекреаційної сфери послуг, підвищення рівня енергозабезпеченості доцільно вести за рахунок комплексного використання ВДЕ з одночасним підвищенням енергоефективності та реалізації заходів з енергозбереження [9].

Основний енергопотенціал ВДЕ в Івано-Франківській області припадає на біомасу, енергію вітру та енергію сонця. Використання енергії сонця в обсягах технічно-досяжного потенціалу справляє мінімальний вплив на навколишнє середовище в місцях його використання. Касіянчуком Д. В. була розроблена карта (рис. 2) потенціалу використання сонячної енергії. Основним недоліком використання сонячної енергії є її низька концентрація, що призводить до значних габаритів сонячних колекторів та батарей. Це в свою чергу призводить до значної землемісткості (0,003-0,004 га/кВт), що значно перевищує показники установок з перетворення енергії традиційних палив. В той же час, розміщення таких об'єктів на будівлях та непродуктивних землях дозволяє уникнути вилучення продуктивних земель із обігу. SWOT-аналіз використання сонячної енергії представлено в табл. 1.

Таблиця 1

SWOT-аналіз використання сонячної енергії

Переваги	Недоліки
- кількість; - сталість; - доступність; - екологічна чистота; - безшумність; - економічність; - велика область застосування; - інноваційні технології.	- основним недоліком використання сонячної енергії є її низька концентрація; - вихід енергії – непостійний; - вартісне устаткування; - мінливість; - незначне забруднення НС; - мала щільність потужностей.
Можливості	Загрози
- можливість експорту; - за рахунок вдосконалення технології та введення в експлуатацію нових потужностей виробництво електроенергії СЕС може бути значно збільшено.	- використання площі родючих земель не за призначенням.

Потенціал вітрової енергії (рис. 3, розробник Касіянчук Д.В.) в гірській частині Івано-Франківської області є одним з найвищих в середньому серед країн Європи та найвищий в Україні. Регіон має хороші можливості для впровадження малих ВЕС (потужністю до 50 кВт), в тому числі на територіях приватних будинків потужністю до 30кВт з продажем електроенергії енергопередавальним організаціям (Обленерго) по «зеленому» тарифу (20 євроцентів за 1 кВт·год), проте такі схеми ВЕС поки що тільки в

перспективних планах. Перспективними щодо розвитку вітроенергетики є Косівський, Городенківський, Верховинський, Долинський, Надвірнянський райони Івано-Франківської області. SWOT-аналіз використання вітрової енергії представлено в табл. 2.

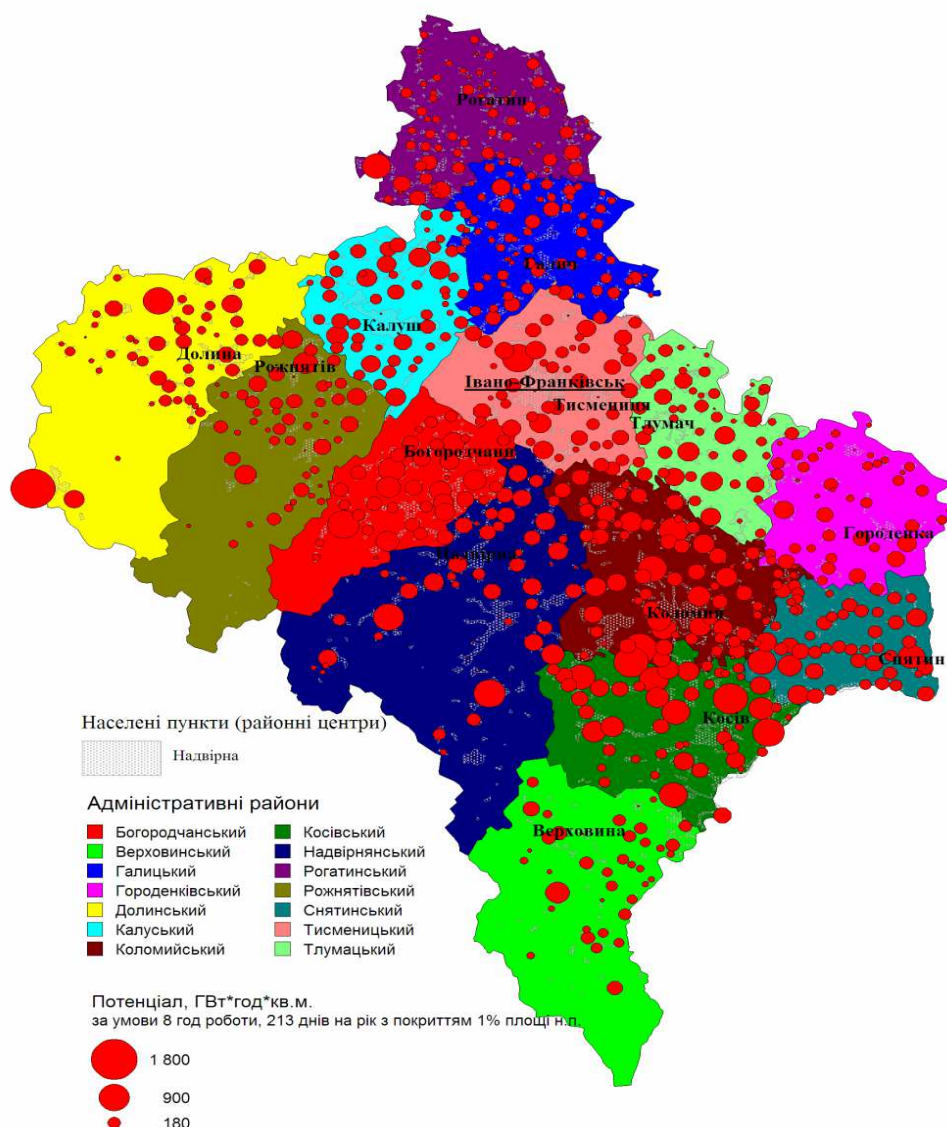


Рис. 2. Карта потенціалу використання сонячної енергії, ГВт*год*кв.м на прикладі населених пунктів Івано-Франківської області [10]

Таблиця 2

SWOT-аналіз використання вітрової енергії

Переваги	Недоліки
- екологічно-чистий вид енергії; - можливість будувати станції у важкодоступних місцях; - легковідновлювальна енергія; - ергономіка.	- нестабільність; - невисокий вихід енергії; - вартісна установка; - шумове забруднення.
Можливості	Загрози
- зменшення забруднення повітря; - запровадження нових змін у законодавстві.	- економічна ефективність.

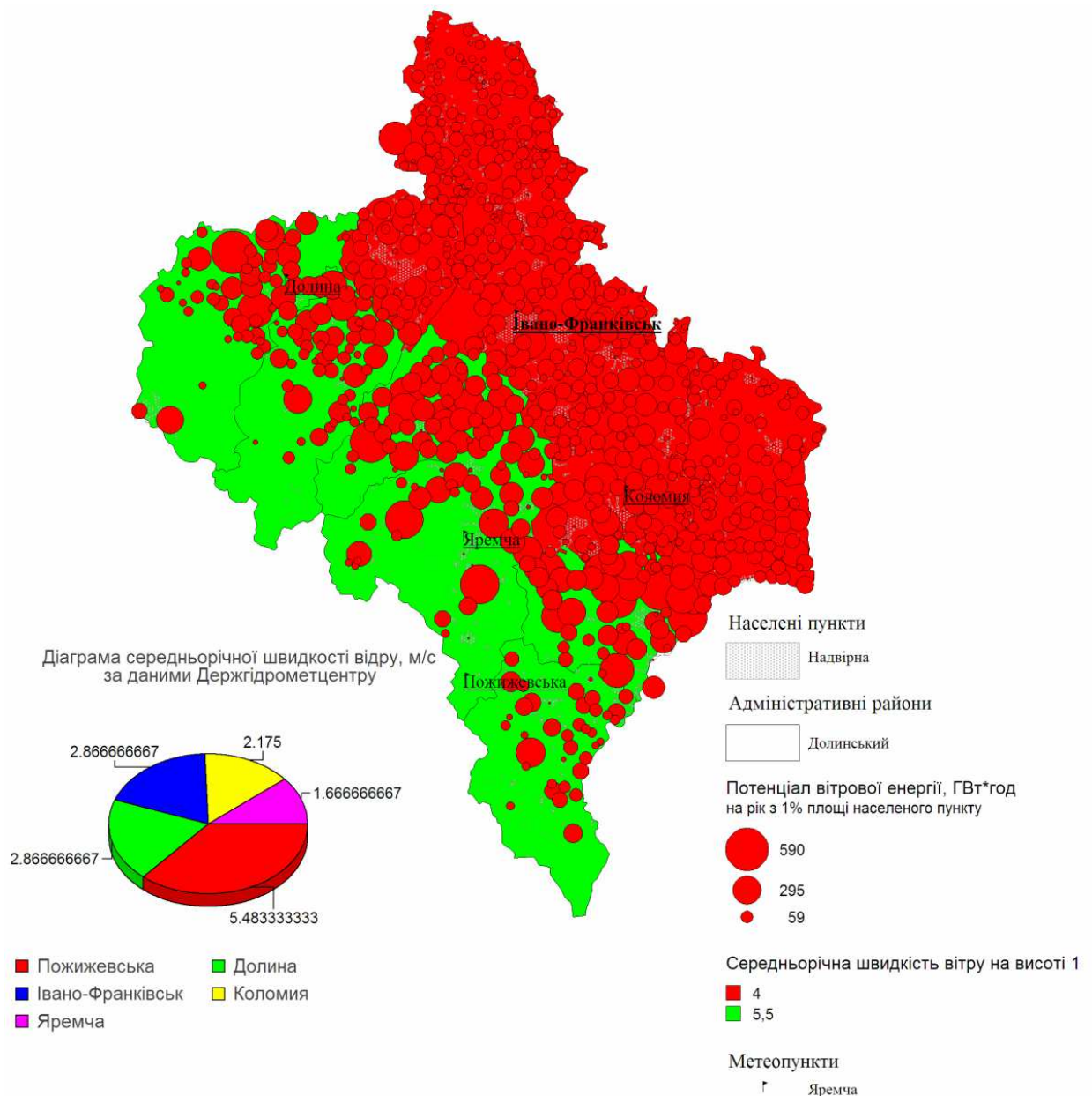


Рис. 3. Карта потенціалу використання вітрової енергії, ГВт*год на рік на прикладі населених пунктів Івано-Франківської області [11]

Біоенергетичний сектор України є одним з найбільш розвинених. Найбільший енергетичний потенціал в Україні - сільськогосподарські культури, деревні відходи, рідке паливо і органічний компонент твердих побутових відходів. За різними оцінками, потенційна встановлена потужність в біоенергетичному сегменті становить 15 ГВт.

Івано-Франківська область має великий потенціал біомаси, доступної для енергетичного використання. Касіянчуком Д. В. була розроблена карта потенціалу використання біомаси запасів деревини (рис. 4). Базовими складовими потенціалу біомаси області є деревна біомаса та відходи сільського господарства. Шляхом залучення потенціалу біомаси до виробництва енергії в найближчій перспективі можна задовольнити близько 15% потреби області в первинній енергії (без врахування потреб в паливі Бурштинської ТЕС) або замінити близько 50% (300-350 млн м³) природного газу, що його споживає населення області. SWOT-аналіз використання біомаси представлено в табл. 3.

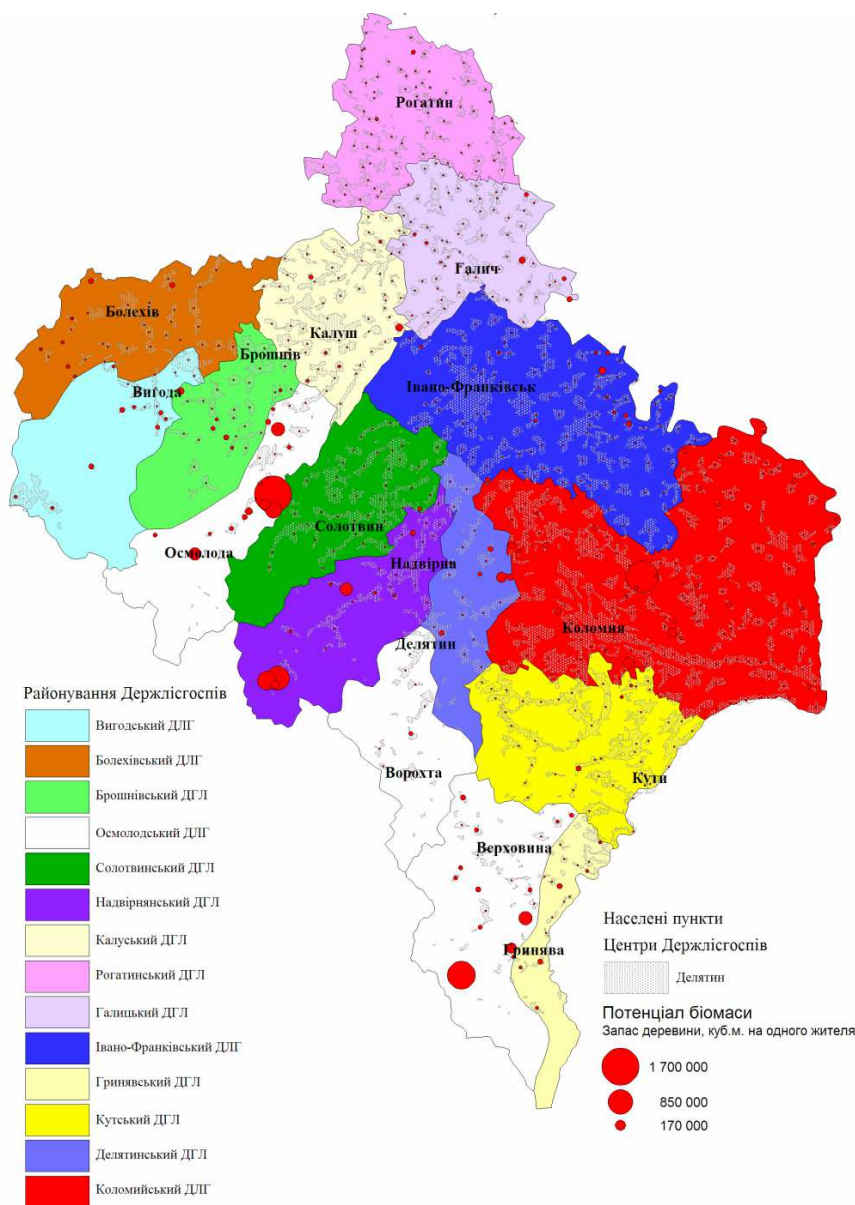


Рис. 4. Карта потенціалу використання біомаси запасів деревини підприємствами Держлісгоспу Івано-Франківської області

Таблиця 3

SWOT-аналіз використання енергії біомаси

Переваги	Недоліки
- утилізація відходів; - розвиток с/г; - великі потенційні запаси; - покращення екологічного стану країни; - різноманітність енергоцінних культур; - відновлюваність; - створення нових робочих місць; - зменшення енергетичної залежності; - великий потенціал; - різноманітність застосування	- конкуренція на ринку; - ерозія ґрунтів; - транспортування біомаси до місця переробки; - недостатня підтримка зі сторони держави; - залежність від природних умов
Можливості	Загрози
- зміни у законодавстві; - можливість експорту; - сприятливі природні умови	- зменшення обсягів виробництва продовольчої продукції; - негативний вплив енергетичних культур на ґрунти

Висновки. Використання відновлюваних джерел енергії є одним з найважливіших напрямків енергетичної політики України для збереження традиційних енергетичних та енергетичних ресурсів та поліпшення стану навколишнього середовища. Збільшення використання відновлюваних джерел енергії в енергетичному балансі України підвищить рівень диверсифікації джерел енергії, що сприятиме посиленню енергетичної незалежності держави. Застосування ГІС для розробки проектів аналізу потенціалу ВДЕ значно спрощує прийняття рішень у сфері енергетичного менеджменту, а також дозволить покращити розташування установок у найбільш сприятливих районах.

Література

- 1 Гелетука Г., Железна Т. Аналіз енергетичних стратегій країн ЄС та світу і ролі в них відновлювальних джерел енергії [Електронний ресурс] : Режим доступу <http://greenenergy.com.ua/info-data/analiz-energetichnih-strategij-krayin-es-ta-svitu-i-rol-i-v-nih-vidnovlyuval-nih-dzherel-energiyi/>
- 2 «Про альтернативні джерела енергії»: закон України // Відомості Верховної Ради – України // – 2003. – № 24. – Ст. 155
- 3 «Про Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року»: розпорядження Кабінету Міністрів України // - 2014 р. – № 902-р, Київ.
- 4 Альтернативні палива та інші нетрадиційні джерела енергії : Підруч. для енергет. і екол. спец. вищ. навч. закл. / О.Адаменко, В. Височанський, В. Лютко, М. Михайлів; ред.: В. Лютко; Ін-т менедж. та економіки. - Івано-Франків., 2000. - 255 с. - укр.
- 5 Єрмілов С. Ф. Державна політика енергоефективності в Європейському та Українському контексті // Електронний журнал енергосервісної компанії «Екологіческие системы». — 2007. — № 8.
- 6 Ясенський, В. Відновлювальна енергетика XXI століття [Текст] / В. Ясенський, В. Клименко // Новини агротехніки. – 2007. – № 5. – С. 38–39
- 7 Матвійчук Л. Ю. Геоекономічні аспекти енергетичної безпеки України / Матвійчук Л. Ю. // "Економічний форум", Луцький НТУ, м. Луцьк, 2015. – С. 215-221.
- 8 Вахновська О. Формування ринку біопалива в Україні та перспективи його розвитку / О. Вахновська // Збірник наукових праць Черкаського державного технологічного університету. Серія : Економічні науки. - 2015. - Вип. 40(1). - С. 32-37.
- 9 Огляд енергетики, енергоефективності та відновлюваних джерел енергії Івано-Франківської області. Аналіз, висновки та рекомендації. (Звіт за договором № іс/2012/093) – 2013 р.
- 10 Касіянчук Д.В. Оцінка потенціалу сонячної енергії території Івано-Франківської області / Касіянчук Д.В., Гриб Н.В., Крив'юк І.В., Штогрин Л.В. // Міжнародна науково-практична конференція "ЕКОГЕОФОРУМ-2017. Актуальні проблеми та інновації", 22-25 березня 2017 р. – м. Івано-Франківськ, 2017. – С. 280-282.
- 11 Касіянчук Д.В. Геоінформаційний аналіз потенціалу вітрової енергії території Івано-Франківської області // IV Міжнародна науково-практична конференція "Екологія і природокористування в системі оптимізації відносин природи і суспільства", 27-28 квітня 2017 р. – м. Тернопіль, 2017. – С. 50-52.

© М. М. Тимків,
Д. В. Касіянчук

*Надійшла до редакції 28 вересня 2017 р
Рекомендував до друку
докт. геол. наук В. Р. Хомин*

УДК 620.9

М. І. Михайлів, В. В. Головка, І. М. Михайлів
*Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

АНАЛІЗ ВПРОВАДЖЕННЯ ВІДНОВАЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ

Представлено результати аналізу виробленої енергії відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ) в Україні, а також встановлена потужність станцій, які працюють з використанням ВДЕ. Запропоновано рекомендації щодо удосконалення заходів споживання

Висновки. Використання відновлюваних джерел енергії є одним з найважливіших напрямків енергетичної політики України для збереження традиційних енергетичних та енергетичних ресурсів та поліпшення стану навколишнього середовища. Збільшення використання відновлюваних джерел енергії в енергетичному балансі України підвищить рівень диверсифікації джерел енергії, що сприятиме посиленню енергетичної незалежності держави. Застосування ГІС для розробки проектів аналізу потенціалу ВДЕ значно спрощує прийняття рішень у сфері енергетичного менеджменту, а також дозволить покращити розташування установок у найбільш сприятливих районах.

Література

- 1 Гелетука Г., Железна Т. Аналіз енергетичних стратегій країн ЄС та світу і ролі в них відновлювальних джерел енергії [Електронний ресурс] : Режим доступу <http://greenenergy.com.ua/info-data/analiz-energetichnih-strategij-krayin-es-ta-svitu-i-rol-i-v-nih-vidnovlyuval-nih-dzherel-energiyi/>
- 2 «Про альтернативні джерела енергії»: закон України // Відомості Верховної Ради – України // – 2003. – № 24. – Ст. 155
- 3 «Про Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року»: розпорядження Кабінету Міністрів України // - 2014 р. – № 902-р, Київ.
- 4 Альтернативні палива та інші нетрадиційні джерела енергії : Підруч. для енергет. і екол. спец. вищ. навч. закл. / О.Адаменко, В. Височанський, В. Лютко, М. Михайлів; ред.: В. Лютко; Ін-т менедж. та економіки. - Івано-Франків., 2000. - 255 с. - укр.
- 5 Єрмілов С. Ф. Державна політика енергоефективності в Європейському та Українському контексті // Електронний журнал енергосервісної компанії «Екологіческие системы». — 2007. — № 8.
- 6 Ясенський, В. Відновлювальна енергетика XXI століття [Текст] / В. Ясенський, В. Клименко // Новини агротехніки. – 2007. – № 5. – С. 38–39
- 7 Матвійчук Л. Ю. Геоекономічні аспекти енергетичної безпеки України / Матвійчук Л. Ю. // "Економічний форум", Луцький НТУ, м. Луцьк, 2015. – С. 215-221.
- 8 Вахновська О. Формування ринку біопалива в Україні та перспективи його розвитку / О. Вахновська // Збірник наукових праць Черкаського державного технологічного університету. Серія : Економічні науки. - 2015. - Вип. 40(1). - С. 32-37.
- 9 Огляд енергетики, енергоефективності та відновлюваних джерел енергії Івано-Франківської області. Аналіз, висновки та рекомендації. (Звіт за договором № іс/2012/093) – 2013 р.
- 10 Касіянчук Д.В. Оцінка потенціалу сонячної енергії території Івано-Франківської області / Касіянчук Д.В., Гриб Н.В., Крив'юк І.В., Штогрин Л.В. // Міжнародна науково-практична конференція "ЕКОГЕОФОРУМ-2017. Актуальні проблеми та інновації", 22-25 березня 2017 р. – м. Івано-Франківськ, 2017. – С. 280-282.
- 11 Касіянчук Д.В. Геоінформаційний аналіз потенціалу вітрової енергії території Івано-Франківської області // IV Міжнародна науково-практична конференція "Екологія і природокористування в системі оптимізації відносин природи і суспільства", 27-28 квітня 2017 р. – м. Тернопіль, 2017. – С. 50-52.

© М. М. Тимків,
Д. В. Касіянчук

*Надійшла до редакції 28 вересня 2017 р
Рекомендував до друку
докт. геол. наук В. Р. Хомин*

УДК 620.9

М. І. Михайлів, В. В. Головка, І. М. Михайлів
*Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

АНАЛІЗ ВПРОВАДЖЕННЯ ВІДНОВАЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ

Представлено результати аналізу виробленої енергії відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ) в Україні, а також встановлена потужність станцій, які працюють з використанням ВДЕ. Запропоновано рекомендації щодо удосконалення заходів споживання

електричної енергії виробленої в денний період фотоелектричними станціями (ФЕС), в тому числі і використання постійного струму. Відзначено участь ВДЕ щодо впровадження основних принципів Smart Grid.

Ключові слова: ВДЕ, встановлена потужність, вироблена електроенергія, активні споживачі (АС), місцеві джерела генерації, фотоелектричні станції, вітроенергетичні установки (ВЕУ).

The results of an alysis of RES in Ukraine are presented,as well as the installed capacity of stations operating on the basis of RES. Recommendations were offered on improvement of measures of consumption of electric energy produced during the day by photovoltaic stations (FES), including the use of direct current. The participation of RES in the implementation of the basic principles of Smart Grid has been noted.

Keywords: RES, installed capacity, produced electricity, active consumers, local sources of generation, photovoltaic stations, wind power installations.

Вступ. Електроенергетика є однією із головних типів антропогенного впливу на геологічне середовище та активізацію екзотехнічних геологічних процесів [1]. Сучасні проблеми енергетики пов'язані з обмеженістю та нерівномірністю розміщення енергетичних ресурсів на планеті та недосконалістю традиційних енергетичних технологій. Тому одним із ключових напрямків доктрини розвитку сучасної енергетики є уповільнення темпів експлуатації вичерпних енергоресурсів і заміщення їх відновлюваними джерелами [2].

У багатьох країнах світу активно впроваджуються енергоощадні технології, сучасні системи керування енергоспоживанням, а також вироблення електроенергії нетрадиційними та відновлюваними джерелами. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії, останнім часом, стали одним із важливих критеріїв сталого розвитку світової спільноти. Головними причинами такої уваги є очікуване вичерпання запасів органічних видів палива, різке зростання їх ціни, недосконалість та низька ефективність технологій їхнього використання, шкідливий вплив на довкілля. Особливо гостро ця проблема стоїть в Україні, причинами цього є застарілі технології, значні втрати при транспортуванні, розподілі та використанні електроенергії. Одним із напрямків усунення вищезгаданих недоліків є впровадження системи SmartGrid (розумна мережа). Основними напрямками даної концепції є створення активних споживачів , які одночасно з традиційними виробниками і споживачами енергії приймають участь у виробленні енергії у місцях споживання завдяки місцевим джерелам генерації.

Крім того, поширення АС передбачає впровадження енергозберігаючих технологій, підвищення енергоефективності роботи СЕП, в тому числі і сучасних систем керування навантаження та контролю якості енергії, а також вирішує наступні завдання:

- економію первинних енергоресурсів: вугілля, мазут, газ;
- зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище теплових електростанцій;
- покращення надійності електропостачання, якості електроенергії.

Також ВДЕ є шляхом до зменшення забруднення довкілля, оскільки вугілля є викопним паливом, оскільки містить багато шкідливих домішок, зокрема сполуки сірки, важкі метали, ртуть та подекуди навіть радіоактивні ізотопи. При спаленні вугілля ці отруйні речовини у значних кількостях вивільняються в довкілля, забруднюючи повітря, водні басейни та ґрунти.

Такі забруднюючі речовини, як сірчистий газ, оксиди азоту та зольний пил, що у великій кількості викидаються підприємствами теплової енергетики, завдають хронічної та незворотної шкоди здоров'ю людей як прямо, так і опосередковано. При цьому вплив важких металів є найбільш руйнівною та довготерміною.

Отже, переваги відновлюваної енергетики варіюються від дотримання нами екологічних зобов'язань перед майбутніми поколіннями до соціально-економічних

переваг, які дають поштовх для подальшого інноваційного розвитку без завдання шкоди навколишньому середовищу. Доступ до ВДЕ є цінністю для всього суспільства, зокрема для тієї її частини, де надійне енергопостачання може сприяти значному покращенню рівня життя та зростанню економіки. Таким чином, стимулювання розвитку відновлюваної енергетики є не тільки загальносуспільним і державним завданням, а набуває сенсу для кожного.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій. Дослідження стану та перспективи розвитку альтернативної енергетики в Україні висвітлені в роботах С. О. Кудрі, А. Р. Щокіна, Л. В. Яценка, І. М. Войтовича, П. О. Кудрі

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Сучасний стан влаштування і експлуатації ВДЕ в Україні зумовлює необхідність доопрацювання методологічних основ збалансованого вироблення та споживання електроенергії. Приділення більшої уваги окремим напрямкам нетрадиційної енергетики може привести до негативного впливу на навколишнє середовище, зокрема на стан гірських річок, лісових масивів та інших.

Для вирішення приведених проблем виникає необхідність у створенні обласних, регіональних програм збалансованого впровадження нових потужностей ВДЕ з урахуванням географічних, соціально-економічних та екологічних умов. Окрема увага повинна приділятися громадській думці [3].

Постанова завдання. Створення бази даних і удосконалення науково-методологічних основ щодо збільшення вироблення та споживання електроенергії сприятиме більш ефективному впровадженню потужностей ВДЕ. В результаті чого буде досягнуто зменшення споживання вичерпних енергоресурсів та зменшення негативного впливу електроенергетики на навколишнє середовище.

Результати. В результаті аналізу статистичних даних [5] нами встановлено, що номінальна потужність ВДЕ України приведена на рис. 1 та табл. 1–2 [6], а також вироблена електроенергія впродовж 01.01.2017–01.09.2017 і становить 1 393,485 млн кВт×год, в тому числі:

- вітроенергетика – 580,664 млн кВт×год (41,67 %);
- сонячна енергетика – 543,141 млн кВт×год (38,98 %);
- мала гідроенергетика – 145,384 млн кВт×год (10,43 %);
- біомаса – 66,522 млн кВт×год (4,77 %);
- біогаз – 57,774 млн кВт×год (4,14 %).

Відповідно до встановлених потужностей електростанцій, які працюють на ВДЕ (рис. 1):

- вітроенергетика – 437,725 МВт;
- сонячна енергетика – 686,559 МВт;
- мала гідроенергетика – 92,95 МВт;
- біомаса – 38,70 МВт;
- біогаз – 27,975 МВт;
- всього – 1283,91 МВт.

Таблиця 1

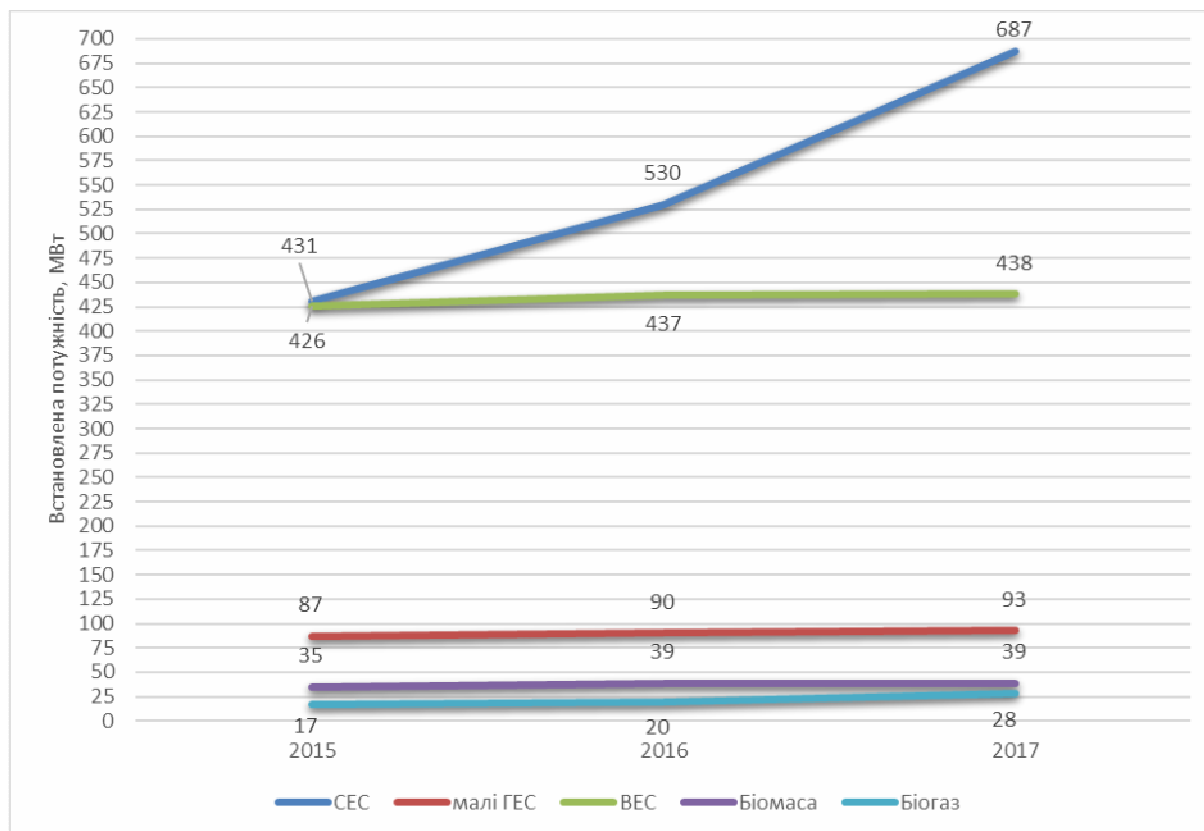
Встановлена потужність та обсяг виробленої електроенергії об'єктами відновлюваної енергетики, що працюють за «зеленим» тарифом, у 2015 році

№ п/п	Напрямок відновлюваної енергетики	Встановлена потужність, МВт	Вироблено електроенергії у 2015 році, млн кВт×год.
		станом на 2015 рік	
1	Вітроенергетика	426	974
2	Сонячна енергетика	431	475
3	Мала гідроенергетика	87	172
4	Біомаса	35	77
5	Біогаз	17	64
Всього		996	1762

Таблиця 2

Встановлена потужність та обсяг виробленої електроенергії об'єктами відновлюваної енергетики, що працюють за «зеленим» тарифом, у 2016 році

№ п/п	Напрямок відновлюваної енергетики	Встановлена потужність, МВт	Вироблено електроенергії у 2016 році, млн кВт×год.
		станом на 2016 рік	
1	Вітроенергетика	437	925
2	Сонячна енергетика	530	492
3	Мала гідроенергетика	90	189
4	Біомаса	39	80
5	Біогаз	20	89
Всього		1116	1775

**Рис. 1. Встановлена потужність електростанцій на основі ВДЕ в Україні у 2017 році**

Збільшення встановленої потужності ВДЕ в Україні в основному ґрунтується на впровадженні сонячних електростанцій. Основні переваги фотоелектричних станцій (ФЕС):

- відсутність необхідності використання викопного палива;
- висока продуктивність;
- можливість використання для монтажу дахів і фасадів будівель;
- надійність системи;
- можливість підключення по «зеленому» тарифу, що дозволить мати стабільне додаткове джерело доходів;
- невибагливість і дешевизна обслуговування;
- можливість використання у віддаленій місцевості;
- абсолютна автоматизація;
- екологічна безпека;
- самостійний підбір необхідної потужності систем;

- ефективність використання в якості додаткової чи основної системи електроживлення.

Масове впровадження ФЕС може привести до надлишку виробленої електроенергії в даний час. Крім того потрібно врахувати наступні недоліки фотоелектричних станцій:

- змінність впродовж певного періоду доби;
- малий ККД до 8% [7];
- вилучення земельних ресурсів (крім випадків встановлення на дахах і фасадах будівель);
- проблема утилізації відпрацьованих панелей.

Розрахунок економії палива та зменшення основних викидів в навколишнє середовище внаслідок використання ВДЕ. Економію палива та зменшення викидів у навколишнє середовище зумовлено виробленою ВДЕ енергією, яка наближено визначається за формулами:

$$\Delta\Pi = e_n \cdot WP, \quad (1)$$

де $\Delta\Pi$ – економія палива в умовних одиницях; e_n – питомі витрати палива на 1 кВт×год виробленої електроенергії; WP – кількість виробленої електроенергії на протязі року. Зменшення основних викидів розраховано за виразом:

$$\Delta B_i = e_{vi} \cdot WP, \quad (2)$$

де e_{vi} – питомі i -ті викиди на 1 кВт×год виробленої енергії.

На основі звітних статистичних даних Бурштинської ТЕС розраховано e_n і e_{vi} . В результаті наближених розрахунків отримано результати (табл. 3).

Таблиця 3

Зменшення кількості викидів в атмосферу [4]

Вироблена електроенергія ВДЕ, млн. кВт×год	Основні викиди	Зменшення кількість викидів в атмосферу, т у.п.
1393,485	викиди золи	2,554
	викиди сірчастого ангідриду SO ₂	17,87
	викиди оксиду азоту NO ₃	1,248
	викиди вуглецю CO ₂	93,829
	економія палива	398,28

Висновки. Незважаючи на всі переваги відновлюваних джерел енергії, у кожного виду є певні проблеми. Зокрема, сонячні електростанції здатні генерувати електроенергію тільки вдень та залежать від кліматичних характеристик місцевості, недоліком ВЕУ є несталість та нерегульованість вітрового потоку, ГЕС потребують затоплення значних територій і негативно впливає на загальний стан екосистеми.

У зв'язку з світовою тенденцією збільшення потужності ФЕС виникає необхідність удосконалення заходів щодо збільшення споживання електроенергії в денний період доби, зокрема впровадження пільг для станцій зарядки електромобілів, використання постійного струму для систем теплопостачання, акумуляторних станцій газотранспортних систем і нафтоперекачувальних станцій, систем електропостачання електробурів.

Крім того доцільно відповідним органам здійснювати корегування потужностей ВДЕ з метою збільшення їх частки у регулюванні максимальних навантажень електроенергетичних систем.

З метою зменшення виділення земельних ресурсів доцільно впроваджувати комбіновані установки ВДЕ (ФЕС, ВЕУ, ГЕС). Для вирішення означених проблем необхідно створювати незалежні громадські організації, консультативні центри, основним завданням яких повинно бути забезпечення збалансованого енергоспоживання та оптимального впливу на навколишнє середовище ВДЕ із урахуванням громадської думки населення.

Література

- 1 Рудько Г.І., Адаменко О.М., Міщенко Л.В. «Стратегічна екологічна оцінка та прогноз стану довкілля західного регіону України» Київ-Чернівці; 2017-472 с.
- 2 Шидловський А.К. «Енергоефективність та відновлювані джерела енергії» Київ, 2007-560 с.
- 3 Адаменко Я.О. «Оцінка впливів техногенно небезпечних об'єктів на навколишнє середовище: науково-теоретичні основи, практична реалізація» автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : спец. 21.06.01 "Екологічна безпека" Адаменко Я.О. ; Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу. - Івано-Франківськ, 2006- 48с.
- 4 Михайлів М.І. «Підвищення екологічної безпеки електроенергетики Карпатського регіону з використанням нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії» автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : спец. 21.06.01 "Екологічна безпека" / М. І. Михайлів ; Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу. - Івано-Франківськ, 2012. - 38 с. : табл. - 32-36.
- 5 <http://www.nerc.gov.ua/?id=26436> Статистична інформація щодо об'єктів альтернативної електроенергетики, яким встановлено "зелений" тариф за 2017 рік
- 6 http://www.nerc.gov.ua/data/filearch/Catalog3/Richnyi_zvit_NKREKP
- 7 Річний звіт про результати діяльності комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг
- 8 <http://alternative-energy.com.ua/>

© М. І. Михайлів,
В. В. Головка,
І. М. Михайлів

*Надійшла до редакції 03 листопада 2017 р.
Рекомендував до друку
докт. геол.-мін. наук О. М. Адаменко*

УДК 502.174.3:620.9

*С. В. Качала, Л. М. Архипова,
О. М. Мандрик, М. М. Приходько
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

ДО ПИТАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ПРИКЛАДІ МГЕС

У статті запропоновано методологію екологічно безпечного впровадження малих гідроелектростанцій на прикладі Карпатського регіону, яка передбачає синтез всієї наявної інформації про гідроенергетичні ресурси Карпатського регіону з детальним аналізом існуючих проектів та оцінкою використання гідроенергії у минулому, визначення гідроенергопотенціалу в основних басейнових системах регіону всіх малих річок; обґрунтування величини техногенно-екологічно безпечного гідроенергопотенціалу, аналіз його кількісних та якісних характеристик. Вибір перспективних, сприятливих та проблемних об'єктів для екологічно безпечного розташування МГЕС проведений з урахуванням територіальних обмежень. Запропоновано комплексний метод визначення гідроекологічного ризику. Вдосконалена система комплексного екологічного моніторингу за станом природно-техногенної безпеки гідро екосистем при улаштуванні МГЕС.

Ключові слова: екологічна безпека, методологія, малі гідроелектростанції, Карпатський регіон

The article proposes a methodology for the ecologically safe introduction of small hydroelectric power stations on the example of the Carpathian region, which provides for the synthesis of all available information on hydropower resources of the Carpathian region, with a detailed analysis of existing projects and the assessment of the hydropower use of the past, the definition and assessment of the hydropower potential within the main basin systems of the region of all small rivers; substantiation of the magnitude of technogenically and environmentally safe

Література

- 1 Рудько Г.І., Адаменко О.М., Міщенко Л.В. «Стратегічна екологічна оцінка та прогноз стану довкілля західного регіону України» Київ-Чернівці; 2017-472 с.
- 2 Шидловський А.К. «Енергоефективність та відновлювані джерела енергії» Київ, 2007-560 с.
- 3 Адаменко Я.О. «Оцінка впливів техногенно небезпечних об'єктів на навколишнє середовище: науково-теоретичні основи, практична реалізація» автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : спец. 21.06.01 "Екологічна безпека" Адаменко Я.О. ; Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу. - Івано-Франківськ, 2006- 48с.
- 4 Михайлів М.І. «Підвищення екологічної безпеки електроенергетики Карпатського регіону з використанням нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії» автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : спец. 21.06.01 "Екологічна безпека" / М. І. Михайлів ; Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу. - Івано-Франківськ, 2012. - 38 с. : табл. - 32-36.
- 5 <http://www.nerc.gov.ua/?id=26436> Статистична інформація щодо об'єктів альтернативної електроенергетики, яким встановлено "зелений" тариф за 2017 рік
- 6 http://www.nerc.gov.ua/data/filearch/Catalog3/Richnyi_zvit_NKREKP
- 7 Річний звіт про результати діяльності комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг
- 8 <http://alternative-energy.com.ua/>

© М. І. Михайлів,
В. В. Головка,
І. М. Михайлів

*Надійшла до редакції 03 листопада 2017 р.
Рекомендував до друку
докт. геол.-мін. наук О. М. Адаменко*

УДК 502.174.3:620.9

*С. В. Качала, Л. М. Архипова,
О. М. Мандрик, М. М. Приходько
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

ДО ПИТАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ПРИКЛАДІ МГЕС

У статті запропоновано методологію екологічно безпечного впровадження малих гідроелектростанцій на прикладі Карпатського регіону, яка передбачає синтез всієї наявної інформації про гідроенергетичні ресурси Карпатського регіону з детальним аналізом існуючих проектів та оцінкою використання гідроенергії у минулому, визначення гідроенергопотенціалу в основних басейнових системах регіону всіх малих річок; обґрунтування величини техногенно-екологічно безпечного гідроенергопотенціалу, аналіз його кількісних та якісних характеристик. Вибір перспективних, сприятливих та проблемних об'єктів для екологічно безпечного розташування МГЕС проведений з урахуванням територіальних обмежень. Запропоновано комплексний метод визначення гідроекологічного ризику. Вдосконалена система комплексного екологічного моніторингу за станом природно-техногенної безпеки гідро екосистем при улаштуванні МГЕС.

Ключові слова: екологічна безпека, методологія, малі гідроелектростанції, Карпатський регіон

The article proposes a methodology for the ecologically safe introduction of small hydroelectric power stations on the example of the Carpathian region, which provides for the synthesis of all available information on hydropower resources of the Carpathian region, with a detailed analysis of existing projects and the assessment of the hydropower use of the past, the definition and assessment of the hydropower potential within the main basin systems of the region of all small rivers; substantiation of the magnitude of technogenically and environmentally safe

hydropower, analysis of its quantitative and qualitative characteristics. The selection of promising, favorable and problematic sites for the environmentally safe location of small hydroelectric power was carried out taking into account the territorial constraints. Was proposed comprehensive method for determination of hydro-ecological risk. Was improved system of complex ecological monitoring on the state of natural and technogenic safety of hydro ecosystems.

Key words: ecological safety, methodology, small hydroelectric power stations, Carpathian region

Постановка проблеми. У 2006 р. Україна прийняла Енергетичну стратегію до 2030 року, яка передбачає, що у 2030 р. частка відновлюваної енергетики у сумарному споживанні первинної енергії становитиме 19%. Потенціал розвитку малої гідроенергетики вважають високим. В Україні активне відновлення малих ГЕС розпочалось лише після встановлення у 2008 році так званого «зеленого тарифу». Відповідно до Національного плану дій з відновлюваної енергетики (NREAP) та згідно дорожньої карти до 2020 року, за рахунок модернізації існуючих потужностей, відновлення старих малих гідроелектростанцій, будівництва та введення в експлуатацію нових генеруючих потужностей гідроенергетики в Україні можна довести виробництво електроенергії [1]:

- мікро- та міні-ГЕС - до 130 ГВт×год у 2020 році (при їх загальній потужності у 55 МВт);

- малі ГЕС - до 210 ГВт×год у 2020 році (при їх загальній потужності 95 МВт).

Актуальність проблеми викликана активним будівництвом малих ГЕС в Карпатському регіоні останні 10 років без їх науково обґрунтованого розташування, рекомендацій екологічно безпечних технологій використання, що у сукупності, викликало призупинення впровадження інвестиційних проектів розвитку.

Аналіз досліджень і публікацій. М. Шихайлов та В. Коханевич описали послідовність обрахунків для підбору відповідних потужностей технологій відновлюваних джерел енергії. Колектив авторів під загальною редакцією Р. Ю. Тормосова, О. П. Романюк, К. Р. Сафіуліної підготували практичний посібник для підготовки проектних пропозицій із чистої енергії [2]. Ряд закордонних вчених, таких як Adam James [3], John Twidell, Tony Weir [4], Godfrey Boyle [5] розглянули досвід використання відновлювальних джерел енергії в світі в світлі сталого розвитку. Аналіз попередніх досліджень показує, що роботи у цій сфері проводяться, як правило, на окремих пооб'єктних компонентах без їх належного системного опрацювання. Тому зазначений вище проблемі в межах Карпатського регіону властива недостатня вивченість і відсутність єдиної методологічної основи.

Виділення невирішених частин проблеми. В останній час в Україні на державному рівні прийнято ряд заходів щодо стимулювання впровадження відновлюваних джерел енергії. Однак, широке впровадження малих гідроелектростанцій в Карпатському регіоні стримується невирішеною проблемою протиріччя пріоритету сталого збалансованого туристично-рекреаційного розвитку регіону й впровадження відновлюваних джерел енергії, невизначеністю гранично допустимих норм впровадження малих гідроелектростанцій в регіоні, відсутністю позитивних результатів моделювання і прогнозу екологічних процесів після застосування різних технологій використання ВДЕ тощо.

Постановка завдання. Отже, актуальним завданням є розроблення методології екологічно безпечного використання відновлюваних джерел енергії на прикладі малих гідроелектростанцій.

Виклад основного матеріалу. В цілому найбільші запаси гідроенергії в Україні (в тис.кВт.год на 1 км² території) припадають на Карпатський регіон [6], а в середині нього - на Закарпатську область. За дослідженнями, що проведені у ІФНТУНГ було встановлено,

що другою областю за потужністю гідроенергоресурсів в Карпатському регіоні є Івано-Франківська [7].

Авторами була узагальнена вся наявна інформація щодо гідроенергетичних ресурсів Карпатського регіону з детальним аналізом проектних розробок, що існували, та оцінкою гідроенергетичного використання річок в минулому. Встановлено, що для Карпатського регіону екологічно безпечним буде облаштування малих, мікро, міні ГЕС (МГЕС) потужністю до 5 МВт [8].

Одним з чинників вибору екологічно безпечних перспективних ділянок розміщення МГЕС стало визначення і оцінка гідроенергетичного потенціалу в межах основних басейнових систем регіону усіх малих річок (довжиною більше 10 км). Визначений в цілому гідроенергопотенціал малих річок Карпатського регіону, проаналізовані його кількісні і якісні характеристики (рис. 1) [9,10].

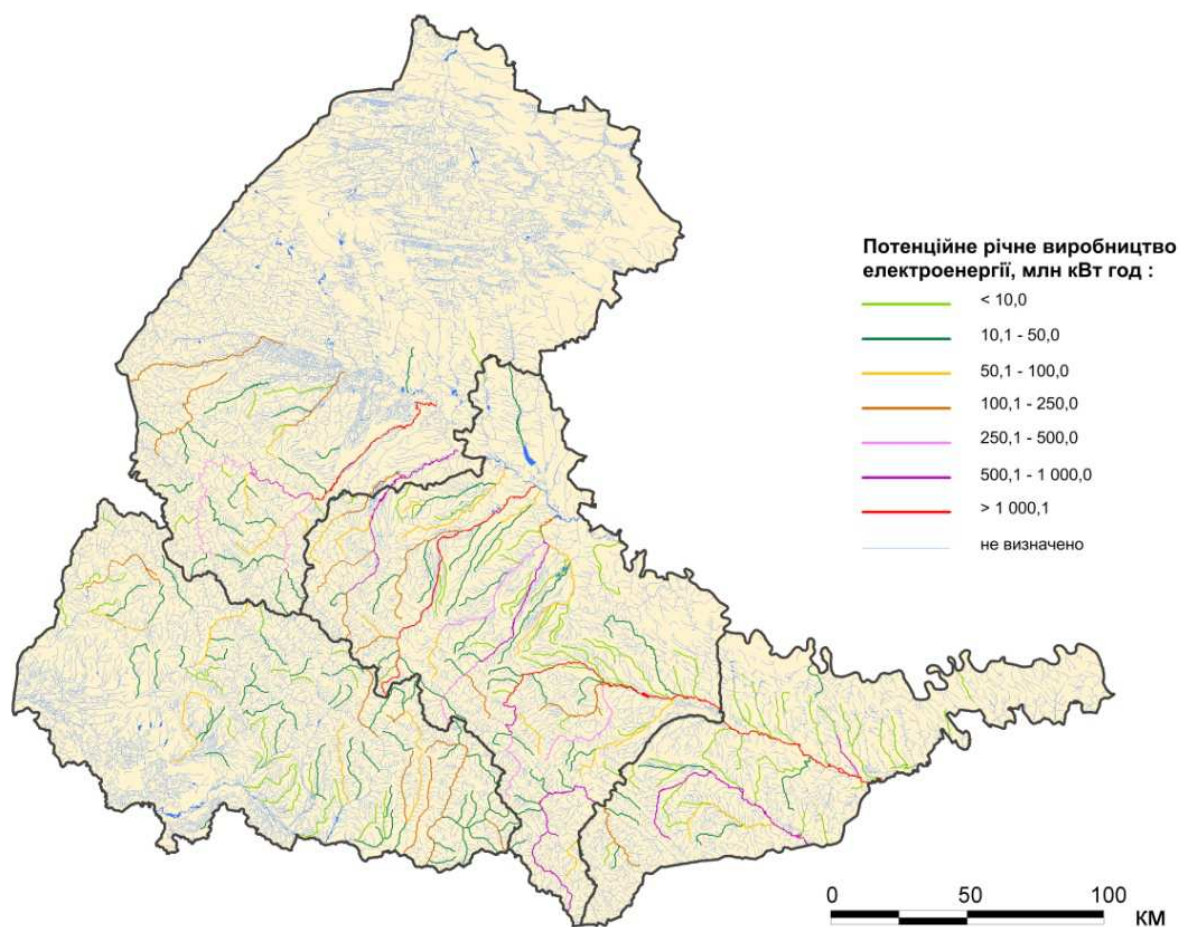


Рис. 1. Гідроенергетичний потенціал малих річок Карпатського регіону

Пропонуємо ввести для користування показник *техногенно-екологічно безпечного гідроенергопотенціалу*. Це частина гідроенерго-ресурсів, яку можна використати у найближчій перспективі за умов збереження екологічної безпеки та при мінімальному техногенному ризику, який підлягає управлінню.

Виходячи з аналізу гідроекологічного потенціалу, екологічно безпечна складова потенційних гідроенергетичних ресурсів була обґрунтована на рівні 15%. Ця величина для Карпатського регіону складає 4,5 млрд.кВт×год за рік, тобто на сьогоднішній день загальна потужність екологічно безпечних МГЕС, для яких ми вирішували задачу вибору перспективних ділянок складає понад 500 тис.кВт [6].

Нашими науковими дослідженнями встановлено, що метою збереження екологічної безпеки в річці необхідно залишати в незмінному природному стані витрату, яка дорівнює ґрунтовому живленню (в розрахунках за цю величину була прийнята мінімальна середньомісячна витрата маловодного року). Таким чином, всі екологічно безпечні МГЕС

Карпатського регіону, повинні проектуватись як безгребельні (які не зможуть використати в повному об'ємі витрату води) (гірляндні, рукавні, поплавкові і т.п.) та малі ГЕС дериваційного типу. Доцільно об'єднання декількох МГЕС в загальну гідросистему.

Для обрання перспективних, сприятливих та проблемних ділянок екологічно безпечного розташування малих ГЕС нами була узагальнена вся наявна інформація щодо гідроенергетичних ресурсів Карпатського регіону з детальним аналізом проектних розробок, що існували, та оцінкою гідроенергетичного використання річок в минулому та враховані обмеження. Результати проведених досліджень показали, що привабливість басейнів річок для екологічно безпечного розміщення гідроенергоспород зменшується з північного-заходу на південний схід, з пониженням висоти місцевості і в напрямку від Закарпаття до Прикарпаття (рис. 2).

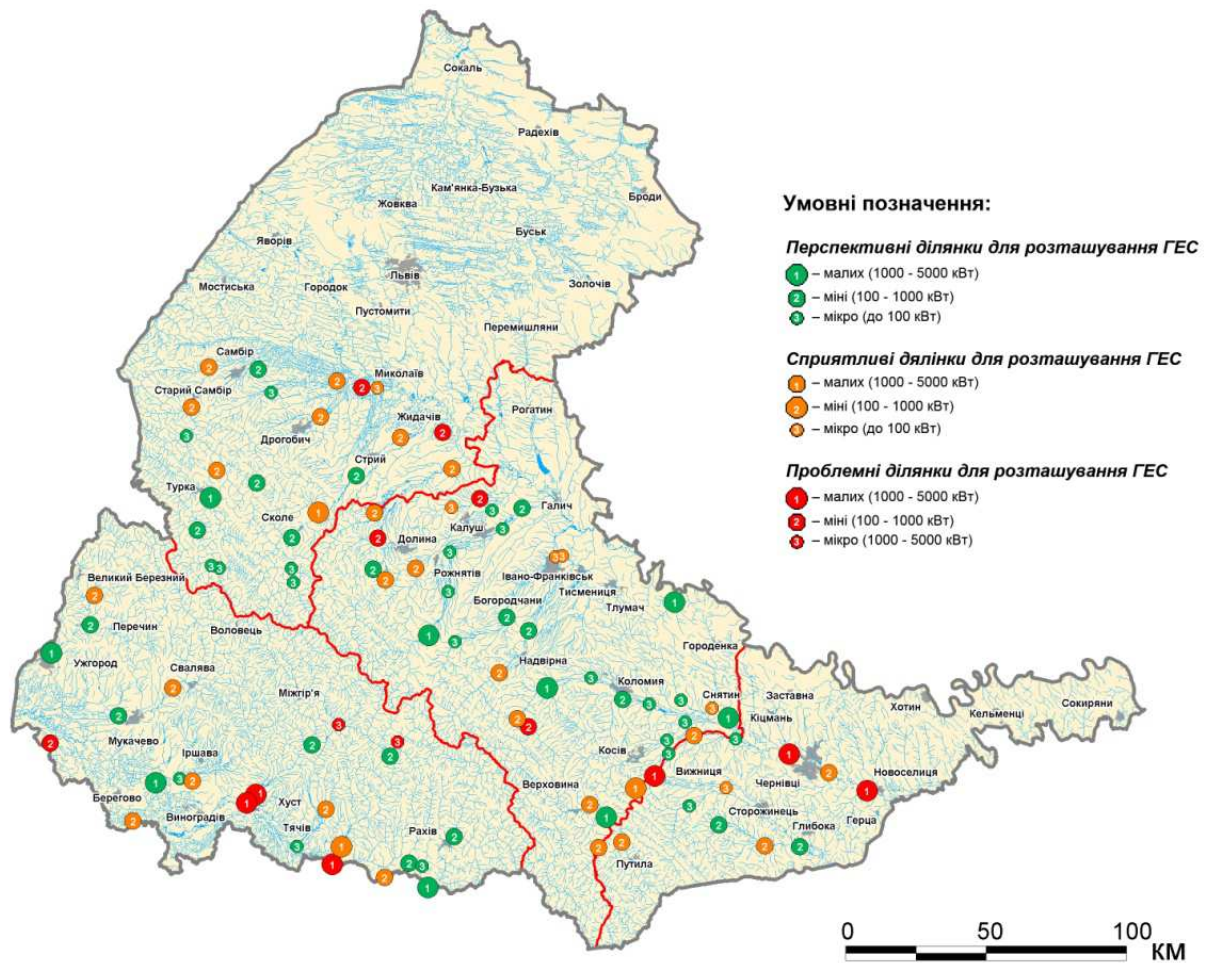


Рис.2. Ділянки екологічно безпечного розташування малих ГЕС

Вперше запропоновано комплексний метод визначення гідро екологічного ризику на проектній стадії будівництва МГЕС. Метод належить до комплексної оцінки природно-техногенного впливу в межах басейну водного об'єкту, який охоплює вплив гідрорежиму, ступінь трансформації водної екосистеми, блокування басейну, фрагментацію, екологічний стан басейну та якісний стан водних ресурсів, функціонування водних екосистем.

Інтегральний показник комплексного гідроекологічного ризику (R_{he}) розраховують за запропонованою першим автором статті формулою:

$$R_{he} = \sqrt[6]{IMP_{flood} * IM_{Pr es} * IMP_{block} * IMP_{frgm} * Kedb * FCQ} , \quad (1)$$

де IMP_{flood} – зміна гідрологічного режиму і екосистеми заплави в нижніх б'єфах гребель, аж до гирла; IMP_{res} – трансформація водних екосистем внаслідок затоплення; IMP_{block} –

блокування річкового басейну, зокрема перетин шляхів міграції біологічних видів; IMP_{frgm} – фрагментація басейну, ступінь розчленування басейну на окремі ділянки греблями, виражені, як відсоток втрачених шляхів пересування по річковій мережі; K_{edb} – коефіцієнт екологічного дисбалансу басейну ріки чи його ділянки; FCQ – коефіцієнт відповідності якості води.

Запропонований для вирішення проблеми екологічно безпечного впровадження МГЕС розрахунковий показник Rhe є відносною величиною, що залежить від рівня антропогенного навантаження та природних процесів і явищ, що відбуваються в межах басейнової гідроекосистеми. Ступінь природно-техногенного впливу або гідро екологічного ризику оцінюють за такою шкалою:

$Rhe < 0,2$ – еталонний стан – діапазон з низьким рівнем ушкодження та сприятливим станом гідроекосистеми;

$0,2 < Rhe < 0,4$ – зона оптимуму – діапазон найсприятливіших для функціонування гідроекосистеми значень факторів середовища;

$0,4 < Rhe < 0,6$ – зона песимуму – діапазон несприятливих для функціонування гідроекосистеми значень факторів середовища;

$0,6 < Rhe < 0,8$ – кризова зона – діапазон з високим рівнем ушкодження гідроекосистеми, стан біосистеми критичний;

$Rhe > 0,8$ – зона екологічного лиха – діапазон з дуже високим рівнем ушкодження гідроекосистеми, стан біосистеми небезпечний.

Отриманий ступінь впливу для певної басейнової одиниці, за динамічності всіх складників, можна використовувати для оцінки ступеня екологічного впливу об'єктів-аналогів. Введення спеціально розробленої шкали для оцінки природно-техногенного впливу при будівництві МГЕС дасть можливість використання простого методу встановлення пріоритетів, де певні райони чи ділянки гідроекосистеми, які відповідають визначеним стандартам якості навколишнього середовища, без подальшого втручання, можна вважати еталонними, а інші ділянки гідроекосистем можна ранжувати і оцінювати залежно від ступеня гідроекологічного ризику.

Сьогодні необхідністю є організація системи ефективного управління взаємодією гідроенергетичних об'єктів з навколишнім середовищем, основою якої є моніторинг, що повинен містити такі етапи [11]:

- формування ефективної системи спостереження, збирання, передавання, оброблення, зберігання та аналізування інформації про взаємодію гідроенергетичного об'єкта та гідроекосистеми;

- оцінювання екологічного стану навколишнього природного середовища території розташування об'єкту впливу;

- прогнозування зміни стану навколишнього природного середовища при впровадженні та експлуатації об'єкта гідроенергетики;

- визначення відповідності параметрів гідроенергетичного об'єкту й водної екосистеми нормативним вимогам, відповідності проектних параметрів і критеріїв безпеки, визначення потенційної загрози населенню;

- прогнозне оцінювання розвитку процесів та безпеки, яку вони можуть нести;

- розроблення управлінських рішень стосовно зниження рівня впливу в гідроекосистемі, уникнення, локалізації та мінімізації наслідків надзвичайних ситуацій.

Моніторинг стану водної екосистеми має оцінювати стан навколишнього природного середовища до початку впровадження об'єктів гідроенергетики і її зміну в процесі будівництва й експлуатації об'єкта [12].

Формування системи моніторингу передбачає кілька функціональних етапів. На первинному етапі визначають фонові характеристики навколишнього середовища на території розміщення об'єкта гідроенергетики, виявляють особливості функціонування природної гідроекосистеми, екологічні й соціальні проблеми.

На підставі паспорта проекту об'єкта гідроенергетики формують програму й проект моніторингу, який передбачає, основні напрямки роботи, вихідну інформацію, рекомендовані методи аналізування й інтерпретації результатів, обґрунтування організації мережі спостережень, оцінювання взаємодії об'єкта гідроенергетики з гідроекосистемою і її станом, розроблення рекомендацій зі збереження оптимального стану гідроекосистеми. При цьому гідроекосистему, що містить об'єкт гідроенергетики, розглядають як єдиний об'єкт, оптимальний стан якого характеризується сприятливою соціальною й екологічною обстановкою в зоні його впливу, зі збереженням нормативних параметрів навколишнього природного середовища.

Запропоновану функціональну схему організації моніторингу гідроекосистеми наведено на рис. 3.

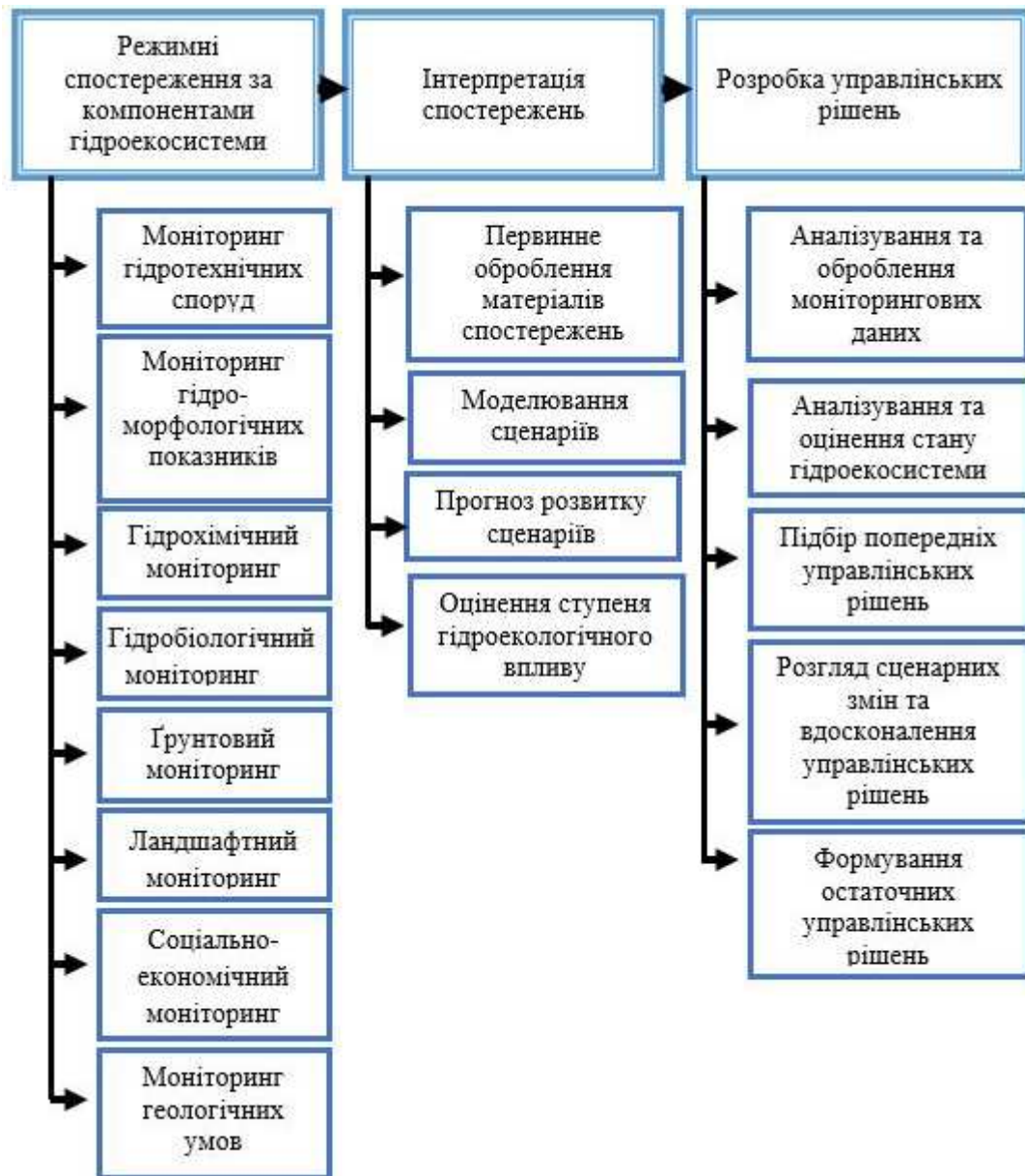


Рис. 3. Функціональна схема організації моніторингу гідроекосистеми при впровадженні МГЕС [11]

Зважаючи на наведені фактори, рекомендуємо запровадити на робочих і майбутніх малих ГЕС програму комплексного екологічного моніторингу за станом природно-техногенної безпеки гідроекосистеми:

- 1) постійний гідроморфологічний моніторинг – з обов’язковим заміром швидкості

течії та рівня води у рибиході;

2) одноразово після завершення будівництва – комплексний гідроморфологічний, гідрохімічний, гідробіологічний моніторинг;

3) перший рік після введення в експлуатацію:

а) комплексний гідроморфологічний, гідрохімічний, гідробіологічний моніторинг – посезонно (весняне водопілля, літній паводок, осіння межень і зимова межень);

б) періодичний моніторинг гідротехнічних споруд, моніторинг геологічних умов, ґрунтовий моніторинг, ландшафтний моніторинг;

в) соціально-економічний моніторинг;

4) протягом наступних чотирьох років (щорічно в період осінньої межень) – комплексний гідроморфологічний, гідрохімічний, гідробіологічний моніторинг;

5) за умови стабілізації екологічної ситуації – раз в п'ять років до завершення життєвого циклу малої ГЕС – комплексний гідроморфологічний, гідрохімічний, гідробіологічний моніторинг;

б) після завершення життєвого циклу ГЕС і демонтажу споруд одноразово для оцінення залишкових впливів:

а) комплексний гідроморфологічний, гідрохімічний, гідробіологічний моніторинг;

б) моніторинг гідротехнічних споруд, моніторинг геологічних умов;

в) ландшафтний моніторинг, моніторинг ґрунтового покриву.

В табл. 1 нижче нами запропоновано перелік рекомендованих точок спостережень для моніторингу водних об'єктів, з функціонуючими об'єктами малої гідроенергетики у Карпатському регіоні та розроблено програму спостережень відповідно до вимог Водної Рамкової Директиви ЄС.

Таблиця 1

Рекомендовані пункти спостережень за водними об'єктами, на яких функціонують малі ГЕС Карпатського регіону

№	Назва об'єкта	Координати МГЕС	Географічні координати рекомендованих постів		Водний об'єкт	Розташування
1	2	3	4		5	6
1	Білинська ГЕС	48.1110990 24.2543790	Фоновий створ	48.1128756 24.2606449	Тиса (Дунай)	Закарпатська обл., Рахівський р-н, с. Білин
			Контрольний створ	48.1067219 24.2550445		
			Створ за межами зони впливу	48.102194 24.255023		
2	Золото-липська ГЕС	48.9856932 25.0701517	Фоновий створ	48.988961 25.0660801	Дністер – Золота Липа	Івано-Франківська обл., Тлумацький р-н, с. Золота Липа
			Контрольний створ	48.982463 25.0731397		
			Створ за межами зони впливу	48.977379 25.0735795		
3	Краснянська ГЕС	48.245583 23.934417	Фоновий створ	48.2476508 23.9284319	Тиса (Дунай) – Тересва	Закарпатська обл., Тячівський р-н, с. Красна
			Контрольний створ	48.2428442 23.9389542		
			Створ за межами зони впливу	48.2385158 23.9384151		
4	Новошицька ГЕС	49.476389 23.427500	Фоновий створ	49.475068 23.4209096	Бистриця Тисменицька	Львівська область, Дрогобицький район, с. Новошичі
			Контрольний створ	49.474458 23.433229		
			Створ за межами зони впливу	49.4760074 23.4381321		

Продовження табл. 1

1	2	3	4		5	6
5	Оноківська ГЕС	48.662500 22.357500	Фоновий створ	48.6600862 22.3515987	Тиса (Дунай) – Уж	Закарпатська обл., Ужгородський р-н, с. Оноківці
			Контрольний створ	48.6657552 22.3621988		
			Створ за межами зони впливу	48.6693122 22.3663616		
6	Саратська ГЕС	47.7481215 25.0007898	Фоновий створ	47.7442583 24.9998724	Сарата	Чернівецька область, Путильський район, с. Сарата
			Контрольний створ	47.7523307 24.9987888		
			Створ за межами зони впливу	47.7562583 24.9975443		
7	Снятинська ГЕС	48.438056 25.575278	Фоновий створ	48.4387677 25.568769	Прут (Дунай)	Івано-Франківська обл., м. Снятин
			Контрольний створ	48.4341481 25.5785108		
			Створ за межами зони впливу	48.4299979 25.5814719		
8	Ужгородська ГЕС	48.624278 22.317861	Фоновий створ	48.6284449 22.3191574	Тиса (Дунай) – Уж	Закарпатська обл., м. Ужгород
			Контрольний створ	48.6211902 22.3142731		
			Створ за межами зони впливу	48.6178178 22.309708		
9	Яблуницька ГЕС	48.0188972 24.9113944	Фоновий створ	48.0147742 24.9130869	Прут (Дунай) – Білий Черемош	Івано-Франківська обл., Верховинський р-н, с. Яблуниця
			Контрольний створ	48.0219793 24.9119282		
			Створ за межами зони впливу	48.026256 24.9107265		
			Створ за межами зони впливу	48.0241967 24.916445		
10	Явірська ГЕС	49.1981077 23.0725443	Фоновий створ	49.1936802 23.0713749	Дністер – Стрий	Львівська обл., Турківський р-н, с. Явори
			Контрольний створ	49.2005228 23.0783272		
			Створ за межами зони впливу	49.2005789 23.0852151		

Висновки. В статті запропонована методологія екологічно безпечного впровадження малих гідроелектростанцій на прикладі Карпатського регіону, яка передбачає узагальнення всієї наявної інформації щодо гідроенергетичних ресурсів Карпатського регіону з детальним аналізом проектних розробок, що існували, та оцінкою гідроенергетичного використання рік в минулому, визначення і оцінка гідроенергетичного потенціалу в межах основних басейнових систем регіону усіх малих річок; обґрунтування величини техногенно-екологічно безпечного гідроенергопотенціалу, аналіз його кількісних і якісних характеристик. Обрання перспективних, сприятливих та проблемних ділянок для екологічно безпечного розташування МГЕС проводилось з врахуванням територіальних обмежень природно-заповідного фонду, туристичних об'єктів, технологій використання гідроенергетичного потенціалу. Запропонований комплексний метод визначення гідроекологічного ризику на проектній стадії будівництва МГЕС, який включає вплив гідрорежиму, оцінку ступеня трансформації водної екосистеми, блокування басейну, фрагментацію, екологічний стан басейну та якісний стан водних ресурсів. Удосконалена система комплексного екологічного моніторингу за станом

природно-техногенної безпеки гідроекосистем при впровадженні МГЕС.

Література

- 1 Програма розвитку гідроенергетики України до 2026 року - [Електронний ресурс] <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/>
- 2 Підготовка проектних пропозицій із чистої енергії: практичний посібник / Під загальною редакцією Тормосова Р.Ю., Романюк О.П., Сафіуліної К.Р. — К.: ТОВ «Поліграф плюс», 2015. — 176 с.
- 3 Adam James. Fact Sheet: 6 Things You Should Know About The Value Of Renewable Energy [Електронний ресурс]. — 2015 — Режим доступу: <http://thinkprogress.org>.
- 4 Renewable Energy Resources. John Twidell, Tony Weir. Taylor & Francis Ltd. ROUTLEDGE: London, United Kingdom. — 2015. - 816 pages.
- 5 Renewable Energy: Power for a Sustainable Future/ Edited by Godfrey Boyle. Oxford, United Kingdom. - 2012, 584 pages.
- 6 Архипова Л.М. Природно-техногенна безпека гідроекосистем: монографія / Л.М.Архипова. — Івано-Франківськ: Видавництво ІФНТУНГ, 2011. — 366 с.
- 7 Arkhypova L. M., Pernerovska S.V. Forecasting water bodies hydrological parameters using singular spectrum analysis// Scientific bulletin of National Mining University. Scientific and technical journal number. — 2015. — № 2 (146). — P.45-50.
- 8 O M Mandryk, L M Arkhypova, O V Pobigun, O R Maniuk. Renewable energy sources for sustainable tourism in the Carpathian region// IOP Publishing. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 144 (2016) 012007. International Conference on Innovative Ideas in Science (IIS2015) 12–13 November 2015, Baia Mare, Romania. Volume 144. - August 2016.
- 9 Стратегічна оцінка використання відновлюваних джерел енергії у сталому туристично-рекреаційному розвитку Карпатського регіону: колективна монографія за ред. Л.М. Архипової /О.М. Мандрик, Л.М. Архипова, Я.О. Адаменко, М.М. Приходько, О.М. Адаменко, О.В. Побігун, О.Р. Манюк, Н.М. Москальчук, Ю.І. Мурава, Ю.Д. Михайлюк. — Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2016. — 323 с.
- 10 Adamenko Ya. O., Arkhypova L. M., Mandryk O. M. Territorial standard quality hidroecosystem protected areas, Hydrobiological Journal, 52(6), 2016. — P. 51–59 English version published by Begell House.
- 11 Качала С.В. Вдосконалення системи організації мережі моніторингу водних об'єктів/С.В. Качала// Екологічна безпека та збалансоване природокористування: науково-технічний журнал – ІФНТУНГ, №1 (15). -2017. С.90-96.
- 12 Korchemlyuk M, Arkhypova L Environmental audit of Ukrainian basin ecosystem of the Prut river// Scientific bulletin of National Mining University, — 2016 – №5 (155). — P 98-106.

© С. В. Качала,
Л. М. Архипова,
О. М. Мандрик,
М. М. Приходько

*Надійшла до редакції 28 листопада 2017 р.
Рекомендував до друку
докт. техн. наук Я. О. Адаменко*

ПРИРОДООХОРОННІ ТА РЕКРЕАЦІЙНІ ТЕРИТОРІЇ

УДК 338.48-44

О. В. Побігун*Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

РОЗВИТОК СІЛЬСЬКОГО ЗЕЛЕНОГО ТУРИЗМУ ЯК СТИМУЛ ДЛЯ СТАЛОГО ЕКОЛОГІЧНОГО РОЗВИТКУ ІВАНО-ФРАНКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

В статті досліджено основні підходи до екологічно-збалансованого розвитку сільського туризму, проаналізовано розвиток сільського туризму в Івано-Франківській області, визначено основні чинники державного регулювання у сфері зеленого туризму України; проаналізовано діяльність сільських садиб Івано-Франківської області.

Ключові слова: Сільський зелений туризм, екологізація, сільські садиби, еколого-збалансований розвиток, Івано-Франківська область

In this article was investigated the main approaches to the ecologically balanced development of rural tourism, analyzed the development of rural tourism in the Ivano-Frankivsk region, determined the main factors of state regulation in the field of green tourism in Ukraine; it is analyzed the activity of rural farmsteads of Ivano-Frankivsk region.

Keywords: Rural green tourism, ecologization, rural homesteads, ecologically balanced development, Ivano-Frankivsk region

Постановка проблеми. Посилення ролі туризму як для економічного, так і для соціально-культурного розвитку багатьох країн світу, а також загострення проблем, що невід’ємно пов’язані з його організацією та розвитком, змушують знаходити шляхи та механізми щодо нових, екологічно значимих напрямків його впровадження. Це стало причиною проведення адаптації основних положень та принципів концепції еколого-збалансованого розвитку до контексту туризму.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Разом з тим сільський зелений туризм є предметом досліджень багатьох науковців, зокрема О. Бейдик, Б. Вихристенко, Б. І. Герасименко, П. Горішевський та ін. Деякі з них, такі як В. Триліс, С. Щербак та Н. Кустерс наголошують на тісному переплетінні сільського та екологічного туризму [1].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Сільський зелений туризм справляє позитивний вплив на відродження, збереження і розвиток місцевих народних звичаїв, промислів, пам’яток природної спадщини, допомагає їх збереженню. Тим самим сприяючи екологічно сталому розвитку даної території. З іншого боку, сільський зелений туризм несе ряд загроз, пов’язаних із негативним впливом на довкілля. Тому аналіз тенденцій розвитку сільського зеленого туризму буде в значній мірі відображати основні стратегічні напрями сталого розвитку території. Зокрема, слід звернути увагу на Івано-Франківську область, яка є осередком розвитку даного виду туризму.

Постановка завдання. Враховуючи динаміку розвитку та потенційні загрози довкіллю від туристичної діяльності, з’явилась необхідність вивчення особливостей впливів окремих її видів на довкілля, проведення комплексної оцінки впливу функціонування і розвитку різних видів туризму в районах Івано-Франківської області.

Викладення основного матеріалу. Станом на 2017 рік, поррахувати всю кількість садиб зеленого туризму в Івано-Франківській області важко, оскільки не всі зареєстровані

як суб'єкти господарських відносин, що надають розміщення, харчування та інші супутні послуги туристам. Проте, за даними Івано-Франківської обласної державної адміністрації за 2014 рік кількість садиб сільського зеленого туризму становила понад 800, в Яремчанській міській раді – 575 (рис.1) [2].

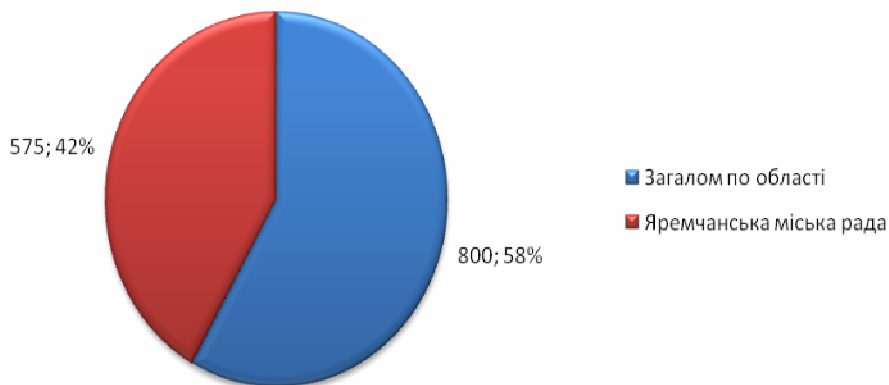


Рис. 1. Загальна кількість садиб сільського зеленого туризму в Івано-Франківській області

Аналізуючи територіальний розподіл агроосель по території області, ми відзначили (табл. 1): з п'яти міст обласного значення приймають туристів на території Яремчанської міської ради, а саме садиби: в м. Яремче, смт. Ворохта, с. Микуличин, с. Поляниця, с. Татарів, с. Яблуниця; на території Болехівської міської ради; з 14 адміністративних районів – садиби знаходяться на території дев'яти районів; серед районів області, де є агрооселі, найбільша кількість садиб знаходиться на території Верховинського району та Косівського районів; найвищий показник кількості агроосель на 1000 осіб сільського населення - в Верховинському районі; серед усіх адміністративних одиниць найвищий показник кількості агроосель на 1000 осіб населення має Яремчанська міська рада [3, 4]. Найбільша кількість осель сільського зеленого туризму знаходиться на території Яремчанської міської ради, Верховинського та Косівського районів. Отже, нами створено картосхему на основі групування адміністративних одиниць Івано-Франківської області за показником кількості приватних осель сільського зеленого туризму, що припадає на 1000 осіб сільського населення, при цьому будемо враховувати лише ті території, де є виявлено хоча би одну садибу (рис. 2).

Таблиця 1

Рівень розвитку сільського зеленого туризму в Івано-Франківській області

Назва адміністративної одиниці	Кількість агроосель на 1000 осіб сільського населення	Рівень розвитку інфраструктури
Івано-Франківська міська рада, Коломийська міська рада, Калуська міська рада, Калуський, Галицький, Городенківський, Снятинський райони	не виявлено	Потенційні території для розвитку
Болехівська міська рада, Богородчанський, Тисменицький, Тлумацький райони, Долинський, Коломийський, Косівський, Надвірнянський, Рожнятівський	0,01 – 2,0	Незначний
Верховинський район	2,1 – 10,0	Середній
Яремчанська міська рада	Більше 10	Високий

На цій підставі в межах гірської рекреаційно-туристичної зони Івано-Франківщини виділяють три різні туристичні райони за рівнями турсвоєності, атракційністю, специфікою пропонованого турпродукту сільського зеленого туризму, зокрема Ворохтинсько-Яремчанський, Верховинсько-Косівський і Осмолодсько-Болехівський райони.

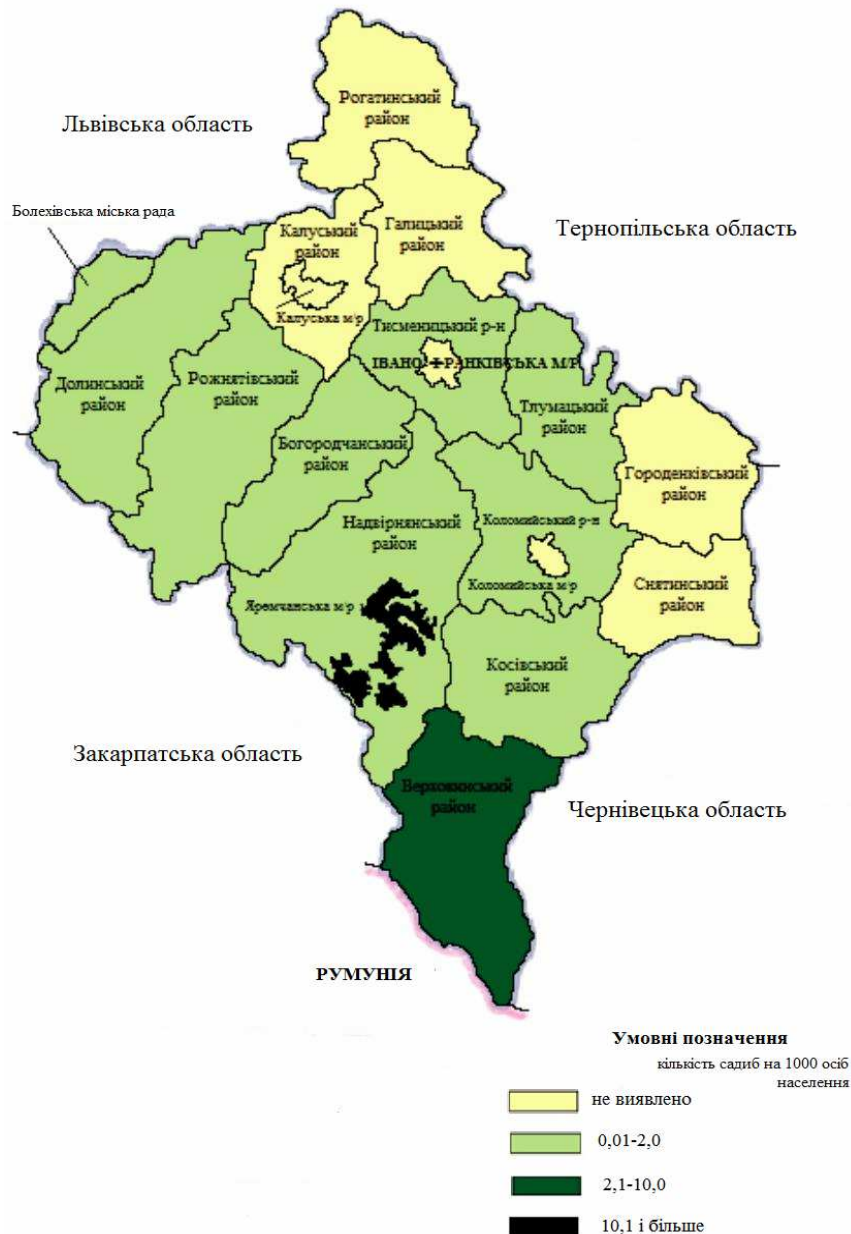


Рис. 2. Карто-схема розташування садиб сільського зеленого туризму в Івано-Франківській області

Також на чисельність садиб можна орієнтуватися, проаналізувавши кількість оголошень щодо надання послуг розміщення на таких відомих веб-ресурсах як Booking.com та Karpaty.ua (рис. 3).

Згідно діаграми, можна зробити висновок, що садиби, які заявили про себе найбільше на ринку сільського туризму в Карпатському регіоні, знаходяться в Закарпатській області (413 садиб) та найкраще популяризують такий вид відпочинку на місцевому рівні. Далі слідує Львівська область, яка характеризується 357 садибами, які подали оголошення на даних веб-ресурсах. Наступною є Івано-Франківська область, чисельність приватних садиб якої налічуються близько 247. Останньою виявилася Чернівецька область, оскільки характеризується відносно малою кількістю розміщених садиб – 46. Таким чином, згідно результатів дослідження, можна стверджувати, що Закарпатська, Львівська та Івано-Франківська області більше розвинені у сфері сільського туризму, оскільки дані садиби активно популяризують свої послуги в інтернет-джерелах [5].

Сільський туризм гармонійно вписується у концепцію багатофункціонального сталого екологічного розвитку села, досить часто є важливим чинником, що впливає на економічну, суспільну, культурну та екологічну ситуацію у регіоні. Прийняття рішення стосовно сприяння місцевому самоврядуванню вимагає здійснення оцінки туристичних об'єктів, інфраструктури села, рівня туристичної абсорбції території. Отже, важливим є визначення можливостей розвитку сільського туризму на певній території [6].

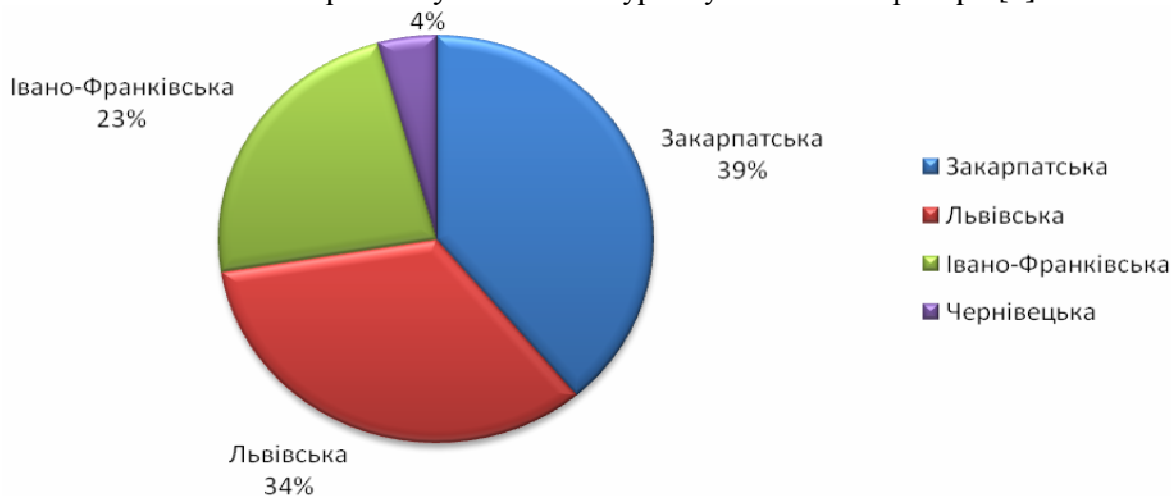


Рис. 3. Співвідношення кількості садиб сільського туризму по областях Карпатського регіону

Спостереження щодо активізації підприємницької діяльності селянських родин у сфері надання туристичних послуг засвідчують (рис. 4), що вона зазвичай є наслідком пошуку альтернативного доходу для селянської сім'ї.

Основні елементи, що впливають на створення власного іміджу, «родзинки» зеленої садиби є різновид послуг, що пропонує своїм відпочиваючим власник агрооселі. Найбільш поширеними (окрім проживання) послугами в садибах Івано-Франківської області є: трансфер, прокат спортивного та відпочинкового інвентарю (лиж, квадроциклів), прокат велосипедів, стіл та інвентар для настільного тенісу, сауна (баня), гойдалки (гамак) та національна кухня.

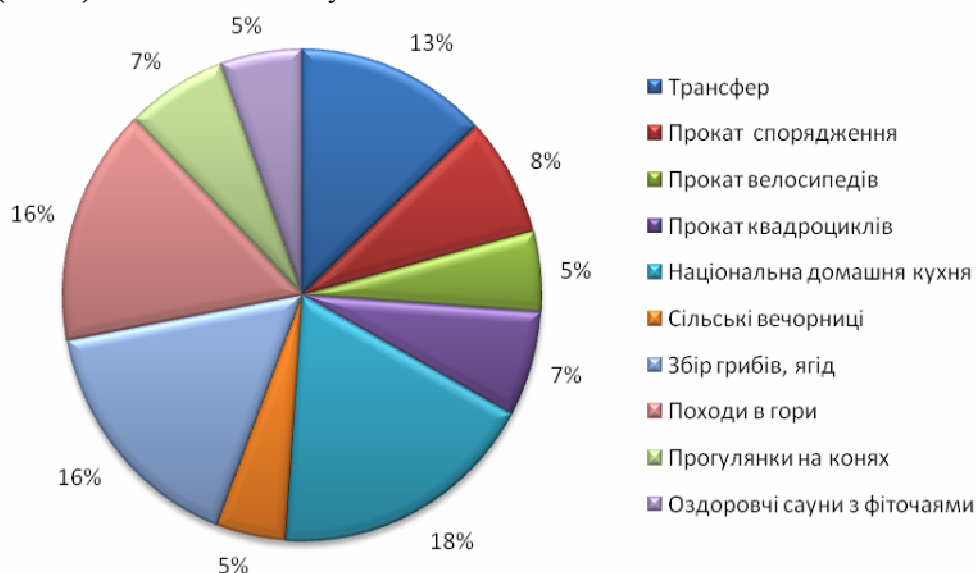


Рис. 4. Додаткові послуги садиб сільського зеленого туризму

Згідно діаграми, можна зазначити, що послуги національної домашньої кухні пропонують – 18% (756) садиб про що свідчить великий інтерес серед туристів до приготування традиційних карпатських страв; походи в гори та збір ягід, грибів можуть

запропонувати – 16% (654) садиб, оскільки значна частина місцевих жителів Карпат може супроводжувати туриста під час сходжень; послуги трансферу також є доволі популярними – 13% (543), адже відомо, що через важку транспортну доступність туристам важко доїхати до садиб, які розташовані вище головних доріг; прокат гірськолижного спорядження надають 8% (329) садиб, це зумовлено розташуванням гірськолижного курорту «Буковель» та менш відомих курортів у Яблуниці, Поляниці, Ворохті, Косові; прокат квадроциклів пропонують 7% (290) садиб; прогулянки на конях – 7% (285); оздоровчі сауни з фіточаями склали – 5% (231), дана послуга є новинкою так зване «купання у гарячому чані»; прокат велосипедів – 5% (220), завдяки наявності велосипедних маршрутів у горах; на жаль, сільські вечорниці пропонують тільки 5% (197) садиб, попри це у Європі такі традиційні гуляння знаходяться на вершині популярності серед туристів, що дає змогу ознайомитися із місцевим колоритом.

Важливе значення для перспектив розвитку сільського туризму має екологічний стан території. Виходячи з цього, сільська громада повинна дотримуватись санітарно-гігієнічних норм та умов проживання; дбати про відсутність сміттєзвалищ в межах сільської місцевості; впроваджувати та використовувати енергозберігаючі технології; піклуватись про естетичний вигляд будинків, вулиць, садів; забезпечувати належне озеленення території; оснащувати сільську територію урнами для сміття з попереднім сортуванням.

Висновки. Розвиток сільського зеленого туризму дозволяє стимулювати покращення екологічного стану території місцевих громад області, дотримуватись принципів сталого розвитку територій, впроваджувати засади еколого-просвітницької роботи серед туристів, які відвідують туристичні садиби. Для підтримки біорізноманіття рекреаційних територій дбати про збереження природних комплексів та об'єктів, розробляти та впроваджувати у практику цільові програми з екологізації існуючих видів туризму та його переходу на принципи екологічно-орієнтованого розвитку.

Література

- 1 Екотуризм – стратегия успеха : пособие для начинающих операторов экотуризма / Программа развития устойчивого сельского туризма в странах Причерноморья. – 2012. – 62 с.
- 2 Туристична діяльність в Україні у 2014 році. Статистичний бюлетень. Державна служба статистики України. - Київ, 2015 р. - 76 с.
- 3 Мартинців Т.О., Побігун О.В. Аналіз стану сільського зеленого туризму в Івано-Франківській області/ Матеріали I Всеукраїнської науково-практичної конференції «Туризм: міжнародний досвід та національні пріоритети», 26 травня 2017 р. – Житомир: Вид-во ФОП Євенок О.О., 2017. – с.79-83.
- 4 Бронювання садиб у Карпатському регіоні // Мандруй впевнено. Путівник Українськими Карпатами [Електронний ресурс] : [Інтернет-портал]. – Електронні дані. – [ТМ «Карпати», 2009-2017]. – Режим доступу: <https://karpaty.ua/> (дата звернення 30.08.2017).
- 5 Помешкання // Booking.com є частиною групи The Priceline Group - світового лідера у галузі онлайн-туризму та супутніх послуг. [Електронний ресурс] : [Інтернет-портал]. – Електронні дані. – [1996–2017 Booking.com]. – Режим доступу: <https://www.booking.com/> (дата звернення 30.08.2017).
- 6 Кудла Н.Є. Сільський туризм. Основи підприємництва та гостинності [Електронний ресурс]: навч. посіб./ Н.Є. Кудла. – 60 Мб/400 МБ. – Львів: Львів. інст.-т економіки і туризму, 2014. – (Бібліотека студента-економіста) – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. – Систем. вимоги: Pentium-266; 32 Mb RAM; Windows 2003, 2007, 2010 XP; MS Word 97-2010

© О. В. Побігун

*Надійшла до редакції 07 листопада 2017 р.
Рекомендувала до друку
докт. техн. наук Л. М. Архипова*

ЕКОЛОГІЧНА ОСВІТА ТА ЕКОЛОГІЧНЕ ВИХОВАННЯ

UDC 502:37.03

*M. Radomska, L. Chernyak,
V. Vologzhanina, O. Chaplygina
National Aviation University*

THE ISSUES OF TRANSPORT ENVIRONMENTAL IMPACTS PERCEPTION BY STUDENTS OF ENVIRONMENTAL AND OTHER ENGINEERING SPECIALTIES

The issues of environmental consciousness formation among the students of non-environmental specialties are considered. The preconditions of environmental culture formation during secondary education have been analyzed on the example of Ukraine, Canada, Germany and Sweden. The efficiency of environmental impacts understanding among the students was tested and evaluated on the example of the environmental impacts of transport. The major complications and problems of environmental culture formation were formulated.

Keywords: environmental education, environmental impacts, environmental culture, higher education, transport.

У статті розглядаються питання формування екологічної свідомості у студентів неекологічних спеціальностей. Проаналізовано передумови формування екологічної культури під час отримання середньої освіти на прикладі України, Канади, Німеччини та Швеції. Повнота розуміння студентами впливів діяльності людини на навколишнє середовище була перевірена та оцінена шляхом опитування на прикладі впливів на довкілля транспорту. Виявлені основні проблеми формування екологічної культури.

Ключові слова: екологічна освіта, впливи на навколишнє середовище, екологічна культура, вища освіта, транспорт.

Introduction. Reorientation of Ukrainian politics and economy towards the sustainable environmental management development is only the part of the major environmental problem facing the state. The most important key to successful transition of the state to the new paradigm of development, which will provide mutually beneficial coexistence of nature and man, is raising public environmental awareness. This will require a combination of the following factors:

- development and distribution of systematic information about the current environment condition, use and protection of natural resources and environment capacity;
- free access of general public to the information on environmental issues at all levels of government;
- active involvement of public into the work on environmental protection and creation of conditions for building a constructive dialogue between citizens and authorities to maintain environmental safety;
- development of environmental component of primary, secondary and higher education in order to raise public awareness of environmental problems.

Pursuant to the first provisions the Ministry of environment protection of Ukraine planned preparation of a package of reports on a regular basis. Thus, according to the Section 6 of the Law of Ukraine "On the Major Principles (Strategy) of the State Environmental Policy of Ukraine for the period till 2020" the reports on environment condition and implementation of the National Environmental Policy of Ukraine must be prepared every year and every five years correspondingly and distributed to the central and local executive bodies for environmental protection, local authorities to be open for review by common public [1].

The last component, namely development of environmental awareness in the process of official education, involves formation and promotion among population of a set of ideas, theories, opinions, motivations, reflecting the environmental aspects of social life, namely the practice of the relationship between man and nature, including regulatory principles and standards of behavior aimed at achieving an optimal state of the system "society-nature".

Problem formulation. The role of high school in building environmental awareness is finalizing and aimed at formation of holistic environmental outlook of students and future professional. Considering the fundamental importance of the ecological way of life it is commonly accepted that all engineering specialties must be provided with equal volume of information on the modern environmental problems and their potential solutions. However, environmental engineers normally get broader perspective of environmental issues. The resulted level of environmental processes understanding must be of different quality. So, the task of the research was to define the range of this difference and efficiency of the non-specific training for the students of other engineering fields. Either, the purpose of the paper is to analyze the current efficiency of training for environmental engineers in terms of modern student-oriented approach accepted in the world educational science and in terms of building their competency.

Analysis of previous research and publications. Theoretical and methodological issues of environmental education as one of the basic components of education for sustainable development are covered in the works by M. Argunova, G. A. Bilyavsky, N. S. Kasimov, Y. L. Mazurov, A. P. Meshchaninov, N. A. Poustovit, N. M. Ridey, T. V. Saenko, S. M. Stepanenko, B. C. Tykunova, S. M. Shmal and others.

The field of competencies formation process is developed by V. P. Simonov, V. P. Bospalko, V. N. Maximova, M. N. Snatkin, O. Ye. Lebedev, V. I. Teslenko, I. Ya. Lerner.

The main tools in raising environmental awareness level are environmental education and environmental culture promotion and behavior improvement.

Environmental education – is a continuous learning process, aimed at assimilation, systematization of knowledge about the environment, methods of its management and protection and development of a common environmental culture.

The system of continuous environmental education, in the context of the current state policy in the field of environmental education is a set of successive environmental education programs that meet state educational standards and are implemented in educational institutions, regardless of their organizational and legal forms. From this point, the most important features of environmental education are openness, multidimensionality, focus on continuous creative search, and formation of an objective picture of the modern world. The structure of environmental education includes learning principles of bioecology, geoecology, chemical ecology; gaining engineering and socio-economic background (sociological and economic faculties).

Ecological culture is inherited experience of human life in its interaction with the environment, promoting healthy lifestyles, sustainable socio-economic development, territory and individual environmental safety. Ecological culture according to V. A. Levin is the ability of people to apply their environmental knowledge and skills on practice [2]. People, having not formed environmental culture, may possess the necessary knowledge, but do not operate them. Ecological culture of a person includes his environmental awareness and environmental behavior.

Environmental consciousness in this relation means the total implementation of ecological and environmental concepts, worldview and attitude to nature, practical activity strategies aimed at natural objects [3].

The concept of ecological education in Ukraine, approved in 2002 by the Ministry of education of Ukraine provides a clear structure for the formation of environmental education, covering all age, social and professional groups of the population. It highlighted two main areas of education – formal and informal. Formal education covers all parts of the education system which exists in Ukraine: pre-school, school, extra-curricular, vocational, higher and postgraduate. The second area is educational in nature and is aimed at formation of ecological

culture of the population through the media, public ecological organizations, parties and the like. Therefore, environmental education and education for all segments of the population is one of the most important and necessary ways that will contribute to the effective solution of an extremely acute environmental and socio-economic problems of modern Ukraine [4].

The system of school education is carried out in two directions: teaching the course "fundamentals of ecological knowledge" and the ecologization of academic disciplines.

In 1993, the Ministry of education of Ukraine introduced to the basic curriculum of the school the elective course "Fundamentals of ecology". Was this program and the textbook "Fundamentals of ecological knowledge". In addition, for schools with advanced study of ecology publications textbooks "Ecology", "Human ecology," but the vast majority of schools the course "Fundamentals of ecology" is not taught [4].

The most common form of ecologization of secondary school education is the saturation of the objects of natural-geographical cycle, in particular biology, geography, chemistry etc. with environmental materials. This approach is not justified in the system of formation of ecological knowledge. As a rule, the subject teacher should reflect the topics of the basic courses of environmental issues [4].

Priority of general secondary environmental education is a personal orientation, involving the creation of an environment in which nature becomes a personal value to each student. This approach is carried out in three stages in accordance with the age of the children, scope and level of their knowledge and experience, psychological characteristics.

Secondary schools of II grade (grades 5-9) are designed to provide students a basic level of environmental education, mastery of the fundamentals of ecological culture. Students should [4]:

- know the essence of ecology as a science and sphere of practical human activities, concepts and regularities that characterize nature as a whole system;
- realize the primacy of nature, the universal and objective character of natural laws, the need for compliance by the person;
- understand the dialectical nature of the influence of scientific-technical progress on the nature and causes of global environmental problems, achieving balanced sustainable development;
- know the ecological rights and duties of citizens of Ukraine;
- be able to evaluate the environment, adjust their own consumption and way of life, to participate in practical conservation actions.

Foreign countries organize environmental education in the similar way, but it includes certain peculiarities. Thus, in Canada the environmental education can occur through formal, non-formal, and informal approaches or settings [5].

Formal environmental education is linked with the formal education system and generally takes place in a school context.

Non-formal environmental education is organized educational activity outside the formal school system, and includes environmental education activities or programs provided by community organizations, youth groups, museums, zoos, and nature/interpretive centers, etc.

Informal environmental education is the provision of information without an organized educational/institutional structure and typically includes learning about the environment through the media, personal reading, everyday experience and interactions with other people.

For the implementation the system of secondary environmental education in Canada children must study such disciplines, which is divided on two main direction: Science and Technology and Social Studies. They include disciplines regarding to the Life Systems, Matter and Materials, Energy and Control, Structures and Mechanisms, Earth and Space Systems, History and Geography.

In Sweden students obtain environmental knowledge in Natural Science Oriented subjects (NO) and Social Science Oriented subjects (SO) in compulsory schools. NO consists of Biology, Physics, Chemistry and Technology in a broader sense. SO consists of Geography,

History, Religion and Civics. Upper secondary schools offer more opportunities to develop environmental awareness, understanding and practical skills [6].

Environmental education in compulsory schools is implemented in comprehensive study and (or) special activity and is carried out for 6 or 7 hours a week. It is also noted that environmental education in Sweden emphasizes the empirical activity such as fieldwork and (or) laboratory work.

The aim of environmental education within Swedish environmental policy is to create a society where present and future generations can live in a guaranteed environment. So, children learn early environmental awareness in pre-school age and continue in compulsory school [6]. The curricula for environmental education are the same in the whole country since 1960s, but teachers have the freedom in deciding interdisciplinary teaching and project work.

Environmental education in Germany also engages with the natural and social environment. Guidelines provide the framework for oriented subjects and consist of five learning areas: Living together in community, Encounter with nature, Orientation in space, Dealing with time, Securing human life [6]. As a result, since the mid-70s environmental issues and problems are included in curricula of all federal states, mostly as a part of geography and history (4 hours a week).

As a general result of comparing the level of implementation of ecological education in the system of secondary education in Ukraine and foreign countries have highlighted the following problems in its implementation:

- limited number of hours allocated for teaching of natural sciences;
- inadequate environmental training of teachers of different subjects;
- limited possibility for introduction of special courses with environmental focus in educational process;
- weak methodological provision of secondary schools with materials of environmental focus;
- lack of motivation of students to obtain environmental knowledge;
- poor coverage of environmental problems of the area and the impossibility to conduct real practice students to familiarize with them, the impossibility of participation of students in practical nature conservation work;
- weak material and technical base of the majority of schools (lack of video materials, laboratory equipment, and modern tourist equipment, etc.).

Research methodology. In order to analyze the existent level of environmental awareness of students of various specialties the following structure of the research was chosen:

1. Definition of the specific environmental problem as a background for the assessment.
2. Determination of the key factors to be considered by students in the questioning.
3. Development of the list of question to be included into the questionnaire.
4. Choice of the target groups of students to be involved into the research.
5. Conduction of the testing.
6. Results processing.

The environmental problem to be chosen for the research had to be as broad as possible and known to people of the widest range of knowledge, both general and applied environmental. It was also necessary to consider the problem with minimum of specific terminology and concepts.

The key factors must refer to the everyday experience of common public to provide the maximum probability of their familiarity to people with various backgrounds.

The list of questions had to be complete enough to reveal the real level of environmental problem comprehension. From the other hand, they had to be understandable to students with different academic results and learning progress.

The groups of student could be different in number (within 5% acceptable statistical difference), but of the different specialties and year of study.

The study was conducted during classes of Fundamentals of Ecology for students of the technical specialties except environmental engineers. For the later the testing was organized during professionally oriented subject classes. The reason for such testing conditions choice was the need to make students perform their best and avoid typical among Slavic people lightweight attitude to social questionings.

The environmental problem most fully corresponding to the above mentioned requirements is the environmental impacts of transport.

Ukraine has developed all major modes of transport and traffic volumes grow each year. However, modern vehicles are major sources of pollution. Emissions of road transport is on average about 5.5 million tons (39% of total emissions in Ukraine) a year. In large cities, air pollution due to transport sometimes reaches 70-90% of the level of contamination. In addition, over 20% of vehicles are currently operating with exceeding standards of harmful substances content in exhaust gases. Also the recent trend in Ukraine is the increasing average age of vehicles, especially cars, in use, due to the crisis of 2009-2010 and unstable social political situation of 2014-2015.

Overall in 2014-2015, transport emissions of pollutants in Ukraine decreased by 0.8% compared to previous years and reached the mark of 195.4 thousand tons a year. However there was a slight increase in carbon dioxide emissions to 5710.6 thousand tons, which is 102% similar to the previous year.

With the aim of reducing negative impacts of transport on the environment, the state government works on development of special environmental programs. The progress in the process of transport environmental impacts mitigation includes reduction of low quality fuels and toxic additives application, development and introduction of advanced techniques and clarified GHG emissions inventory, substitution of old vehicles and equipment of various transport types, reduction of water and power resources consumption and construction, expansion and renovation of anti-erosion, hydraulic, structures to protect against flooding and prevent the development of dangerous geological processes, eliminate or reduce negative impact on the territory and objects of transport to acceptable level. Nevertheless, transport is still among the major sources of technogenic pressure on the environment and needs constant attention from the state authorities.

Thus, the questions offered to the students included testing their knowledge about structure of urban transport system, impacts of various types of transport on components of the environment, factors having influence on the intensity of transport impacts, comparative aggregative effects of transport types, ways of urban traffic problems solution. Students were also offered to name the most important health effects of transport impacts, methods of protection from toxic substances exposure. Questions were in the form of test and others needed open answer.

Results and discussions. The total number of students involved into the interviewing process was 548. Among them, students of environmental engineering included 150 people, others (398) were from non-environmental specialties, but related to transport branch of economy (mechanical engineering, aircraft maintenance, logistics, air navigation) or information technologies field.

The results were obtained during the period of 4 years – 2011-2016 from the students of the 1, 3 and 4 year of study. The first-year students were chosen to participate as they are able to reproduce the understanding of transport impacts on the environment and their health consequences, formed as a result of school education. The second course students were excluded due to dominating non-professional humanities in the curriculum. The third and fourth courses have normally acquired the basic components of their background and their perception of various problems, including environmental is more professional.

The results of the interviews have predictably showed deeper understanding of the problem by environmental engineering students. However, we have managed to establish a range of important issues. First of all, environmental engineering students were able to present a wide

list of potential environmental impacts, produced by transport, while other groups were mostly concentrated on air and noise pollution issues. At the same time a range of mentioned impacts are out of date, meaning their value has already changed over the last decade. This could be conditioned by outdated manuals and training materials used in the study course and lack of knowledge updating due to low interest to the environmental issues. Also it is obvious mostly for scientists that information becomes irrelevant very quickly. The reduction of the necessary volume of knowledge to be acquired, especially technical ones, has led to serious gaps and failure to understand the essence and objective laws of ecosystems functioning.

From the other side, environmental engineers turned to lack purely technical understanding of the process: most of them (62%) failed to give the answers to the questions related to the structure of transport systems. While both groups of students managed to give complete list of factors having influence on the intensity of impacts. Likewise, they have offered similar ways of solving the existing problems. Here is the reflection of an important current problem of the students training, determined in our previous research [7], which is transition from analysis to synthesis in the cognitive process. There is some obstacle in the form of hanging example. In other words, students are inclined to copy the existing examples, provided by professors, and it is only the imitation of synthesis.

The influence of transport on human health is more obvious to environmental engineers and generally it may be concluded that they are more aware about the regularities of environment functioning and able to predict consequences of environment pollution. The other groups of students do not consider the fact of cause-effect relation between environment quality degradation and condition of their health. Although they know that pollution of the environment is hazardous for humans, they do not attribute it to their health, which is a problem and not only in relation to transport impacts perception, but also in relation to understanding consequences of their living activity for the environment and further for their health.

The common problem of environmental impacts perception for both groups of students was inadequate assessment of relative environmental hazard level of different types of transport. General opinion states for complete safety of at least distant influence (environmental effects due to power generating facilities activity) of electric types of transport. Thus, they omit the negative health effects of powerful electro-magnetic fields, accompanying their activity. As a result we may conclude that the presentation of the problem by manuals and trainers is one-sided, leading to future inadequate evaluation of situation, as electric transport is considered to be the transport of future.

But the most urgent issue found in the process of interviews processing is a gap between the understanding and implementation of environment protection principals on the whole. The most prominent example of it is that 97.8% recipients would like to own private car, knowing its nocuous influence on the environment. So, we see the clear problem in the formation of environmental consciousness, culture, education and sustainable development of the country on the whole.

The content of environmental consciousness is revealed through such concepts as environmental views and environmental actions. The ecological views include various kinds of empirical knowledge, attitudes and traditions of a culture, while environmental actions include a system of regulatory principles of moral character.

The structure of environmental consciousness includes rational, sensory-emotional and behavioral components, – and the latest seems to be the most problematic. The main function of environmental consciousness is regulatory. It manifests itself in the regulation of human activity, from the regulatory-stimulating to value-oriented. As a result, major obstacles on the way to implementation of environmental principles in everyday life appear. For the favorable formation of an environmental awareness there are required appropriate laws, public opinion, and environmental education and training since childhood. The research has showed that most of youth haven't moved from anthropocentric and ecocentric world view. Consequently, they percept natural objects and phenomena of reality, their interconnections as a guarantee for

targeted and creative human activity, they also set clear contrast between man and nature, where the highest value is the man himself, using nature to meet his needs, and does not extend ethical norms and rules to interaction with nature. But the aim of environmental education is to build ecocentric environmental consciousness at students. In this case nature itself is recognized as a value, and relationship with it based on the principles of equality, because of dominance of non-pragmatic motivation and distribution of ethical standards and rules on the world of nature.

So, even under clear communication of environment protection principals to the students, they show only initial form of environmental culture. In other words, young people possess the necessary knowledge, but do not operate them. There may be a few possible reasons of this.

Currently the level of indifference to abstract values and individualism is unusually high and except raising obvious moral issues, it is a serious obstacle for mastering such professions as environmental engineering, which is totally grounded on global good and altruism and is often characterized with delayed payback of the invested efforts. This is additionally complicated due to students aiming at practical activity instead of working on theoretical tasks, necessary to form "green" world view, based on solid knowledge in the field of natural sciences.

At the same time, environmental issues are widely discussed by common public and it results in false certainty about comprehensive knowledge of the subject. Thus, at the first level, when students must be ready to receive new information and experiences, educators face the problem of the need to overcome prejudices and improve delusions. Another difficulty is introduction of professional terminology instead of popular or common names. This is also displayed in the process of giving responses and participation in discussions. As a result, students are able to discuss questions from their field of study, but having faced the inadequacy of their previous knowledge and used terms, trainees desist from expressing their ideas. Therefore, the training process faces big difficulties in terms of building students' attitudes and beliefs and overall perception of environmental science, which will eventually form their personal environmental philosophy – the final level of environmental awareness.

The issue of changing way of life to more sustainable is even more urgent for the students of environmental engineering. It is impossible to be good in this occupation without practicing its in ordinary life, which is quite hard with modern level of cynicism among students of higher courses, but still necessary. In the end, it will give awareness about position and importance of environmental engineering and engineers in human life to graduates and young professionals. Here they will also realize, with the help of educators, the role of environmental science not only in safety provisions, but also in the economy of the country. It is important for them to understand that environmental issues are not only restricting, but also provisional for economy, as they support life of workers and resources for production.

Conclusions. The training in the field of ecology and environment protection is currently going through the problematic period. It includes both objective and subjective issues. First, there is lack of well-developed complex tasks to stimulate creative activity and independent thinking of students. This prevents integration of all obtained knowledge and formation of clear occupational patterns to be applied in professional activity.

The second issue is more subjective: availability of common information on various environmental issues litters perception of students and creates additional complications for training process.

Therefore development of engineering education cannot go the way of simplification, considering the growing volume of information and decisive role of engineering for living conditions and living needs provision. There is also a need to improve the scope of issues to be considered by the students especially in the field of transport impacts on the environment.

References

- 1 The Law of Ukraine "On the Major Principles (Strategy) of the State Environmental Policy of Ukraine for the period till 2020" of December 21st, 2010 (Закон України «Про основні засади (стратегію)

державної екологічної політики до 2020 року» від 21 грудня 2010 р. № 2818.). Kyiv, 2010. 41 p. (in Ukrainian).

2 S. N. Deryabo, V. A. Levin. Ecological pedagogic and psychology (С.Н. Дерябо С.Д., Левин В.А. Экологическая педагогика и психология). Rostov-na-Donu: Phoenix Publishing house, 1996. 480 p. (in Russian).

3 Kimaryo, Lydia A. Integrating environmental education in primary school education in Tanzania : teachers' perceptions and teaching practices / Lydia A. Kimaryo. – Åbo : Åbo Akademi University Press, 2011. 223 p.

4 Mudrak, O. Nagorniuk. Environmental education for balanced development of Ukraine. Problemy edukacji technicznej i zawodowej. 09.2010. P. 326-331.

5 Environmental education in Canada. Toronto: Canadian Environmental Grantmakers' Network, 2006. 34 p.

6 J. Radeiski. The Implementation of Environmental Education in elementary schools: A Comparative Study between Sweden and Germany. Karlskrona: Blekinge Tekniska Högskola, 2009. 53 p.

7 M. M. Radomska, L. M. Chernyak. The issues of environmental engineers education in terms of Bloom's taxonomy : NAU Proceedings, 2016. 1(66). P.32-39.

© М. М. Радомська,
Л. М. Черняк,
В. В. Вологжаніна,
О. В. Чаплигіна

*Надійшла до редакції 22 листопада 2017 р.
Рекомендувала до друку
докт. техн. наук Л. М. Архипова*