

УДК 550.461:556.51(477.8)

МІНЕРАЛЬНО-СОРБЦІЙНІ ТА КИСНЕВО-КАВІТАЦІЙНІ КОМПЛЕКСНІ ГЕОХІМІЧНІ БАР'ЄРИ НА ШЛЯХАХ МІГРАЦІЇ ПОТЕНЦІЙНО ЗАБРУДНЕНИХ ПРИРОДНИХ ВОД У БАСЕЙНІ р. СТРИЙ

Ю. Боруцька, В. Дяків

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, 79005 м. Львів, Україна
E-mail: Borutska_Yulya@ukr.net
dyakivw@yahoo.com*

Проведено геоecологічні та мінералого-геохімічні дослідження басейну р. Стрий. З'ясовано, що найпоширенішими комплексними геохімічними бар'єрами, які найактивніше впливають на якість природних вод у басейні р. Стрий, є мінерально-сорбційний та киснево-кавітаційний. Завдяки строкатому мінеральному складу корінних порід і ґрунтів, пересіченості гірського рельєфу, вологому клімату, багатководності, турбулентності водотоків, наявності водоспадів, порогів, водоскатів та їхніх каскадів, збагаченості річкових вод розчиненим киснем за умови прямої дії комплексних мінерально-сорбційного та киснево-кавітаційного геохімічних бар'єрів, багаторазовому розведенню та здатності ландшафтів до відновлення природні води р. Стрий мають потужний потенціал до самоочищення, незважаючи на значне техногенне навантаження.

Ключові слова: мінерально-сорбційний геохімічний бар'єр, киснево-кавітаційний геохімічний бар'єр, глинисті мінерали, самоочищення природних вод, басейн р. Стрий, техногенне навантаження.

Річка Стрий є найбільшим правим допливом Дністра у верхній течії, її довжина – понад 230 км, площа басейну – близько 3 055 км². Живлення річки, здебільшого, дощове та снігове. Витікає річка на висоті 1 405 м при злитті кількох струмочків на північно-західних схилах г. Явірник Великий Верховинського хребта (Головного Карпатського вододілу) поблизу сіл Лавочне та Верхнячка Львівської обл. У верхів'ях річка має змінну ширину русла – 20–40 м, у середній течії розширюється до 80 м, а в нижній течії виходить на Передкарпатську підвищену рівнину, де ширина русла досягає 150 м [7, 11, 14].

Головною площею водозбору басейну р. Стрий є північно-східний схил Карпатської складчастої області в межах середньогірських ландшафтів Сколівського, Турківського та Дрогобицького районів Львівської обл. Нижче за течією від сіл Любинці та Розгірче, при виході з Карпатського гірського пасма на Передкарпатську рівнину, ширина басейну річки суттєво зменшується до 7–10 км, вона протікає територією Стрийського та Жидачівського районів аж до впадіння у Дністер за 5 км на схід від м. Жидачів [11]. Швидкість течії у верхів'ях р. Стрий досягає 4 м/с, у нижній течії – 1,5–2,0 м/с. Середня витрата води при впадінні у Дністер – 45,2 м³/с, максимальна – 890 м³/с.

Природні води басейну р. Стрий є надзвичайно важливим джерелом забезпечення водою населення, промисловості й сільського господарства у Львівській обл. Значна частина Львова, а також Дрогобич, Стрий, Стебник, Моршин, Трускавець та ще кілька інших населених пунктів Львівської обл. забезпечені питною водою з унікального Стрийського родовища підземних вод, у межах якого в надзаплавних терасах р. Стрий поблизу сіл Гірне, Семигинів, Любинці, Жулин облаштовано декілька берегових водозаборів (рис. 1).

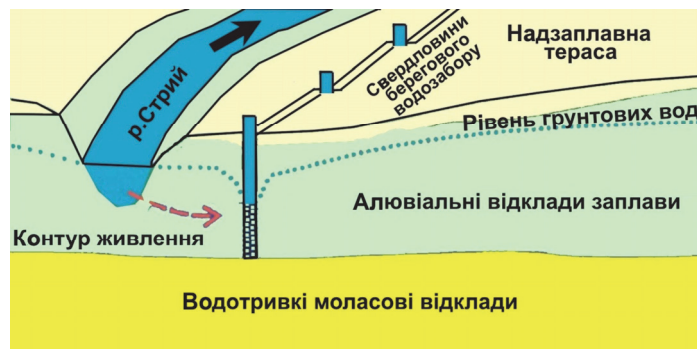


Рис. 1. Принципова схема живлення берегових водозаборів Стрийського родовища підземних вод унаслідок інфільтрації річкових вод р. Стрий.

Понад 80 % території басейну р. Стрий розташовано в межах гірськоскладчастої області Українських Карпат і є площею водозбору Стрийського родовища підземних вод у межах середньогірських ландшафтів Сколівського, Турківського та Дрогобицького районів Львівської обл. З одного боку, це одна з екологічно найсприятливіших територій Західної України. А з іншого, – ресурси території, насамперед ґрунти, гірські ландшафти, корисні копалини та природні води, інтенсивно використовують у господарській діяльності. Особлива увага до якості водних ресурсів у басейні Стрия пов'язана зі щораз більшим техногенним навантаженням на досліджувану територію, локалізацією тут такого: промислів нафтогазових родовищ, що функціонують або не діють (рис. 2, а); кар'єрів бутового каменю, щебеню та гравійно-галькової суміші (див. рис. 2, б); ділянок будівництва великих об'єктів, таких як Бескидський двоколіїний залізничний тунель з відсіпкою відвалів зі значним вмістом органічної речовини (див. рис. 2, в); магістральних автодоріг, залізничних шляхів, газо- та нафтопроводів (див. рис. 2, г); населених пунктів з частим недотриманням норм екологічного законодавства щодо обмеження господарської діяльності у визначених санітарно-захисних зонах (див. рис. 2, д); лісорозробок, у тім числі на крутих схилах з активізацією небезпечних екзогенних геологічних процесів (див. рис. 2, е, 3, а–в); скидів недостатньо очищених стічних вод (див. рис. 3, г); сільськогосподарських угідь (див. рис. 3, д); акумулювання твердих побутових відходів на стихійних сміттєзвалищах та ін. (див. рис. 3, е).

Завдяки наявності наведених вище об'єктів у поверхневій та підземній водах в басейні р. Стрий потенційно можуть надходити такі забруднювальні компоненти:

1) нафта та нафтопродукти: низько- і високомолекулярні, насичені й ненасичені, аліфатичні, нафтенові, ароматичні, гетероциклічні й гібридні, кисне-, азото- й сірковмісні, тверді, рідкі та газоподібні, гідрофобні й водорозчинні вуглеводневі сполуки. Особливо небезпечна водорозчинна фракція нафтопродуктів (передусім, феноли), оскільки вона



Рис. 2. Потенційні джерела негативного техногенного впливу на якість природних вод у басейні р. Стрий:

a – устаткування недіючого промислу Східницького нафтогазового родовища; *б* – Сколівський кар’єр бутового каменю та щебеню; *в* – відвал зі значним вмістом органічної речовини на ділянці будівництва Бескидського двоколісного залізничного тунелю; *г* – перехід нафтопроводу “Дружба” через русло р. Опір; *д* – забудова м. Турка; *е* – лісорозробка в околицях с. Коростів.

здатна до тривалої міграції у воді, стійка до деградації і високотоксична. Надходження нафти й нафтопродуктів у природні води р. Стрий відбувається як у разі прямих аварійних виливів на нафтопромислах з трубопровідного транспорту, так із природною екстракцією з нафтоматеринських порід, що потрапляють у зону активного водообміну унаслідок гірничодобувних впливів та активізації екзогенних геологічних процесів;



Рис. 3. Об'єкти негативного техногенного впливу на якість природних вод у басейні р. Стрий:

a – зсув, зумовлений лісорозробкою на крутому схилі в околицях с. Коростів; *б* – зсув, зумовлений підрізанням схилу в смт Славське; *в* – ерозійне врізання безіменного потічка в околицях с. Либохора у нафтовмісні породи; *г* – скидання недостатньо очищених стічних вод в околицях с. Верхнє Синьовиднє; *д* – сільськогосподарські угіддя в околицях с. Верхнє; *е* – сміттєзвалище в околицях смт Бориня.

2) тонкодисперсні, завислі у воді частинки різного речовинного складу. Збільшення вмісту завислих частинок спричинене активізацією ерозійного змивання незахищеного чи порушеного ґрунтового покриву, нестійких до впливу атмосферних опадів осадових товщ, насамперед аргілітів, із розмиванням їхньої поверхні, розмоканням і деструкцією

їхньої первинної структури в зоні гіпергенезу, активної взаємодії вода–порода з винесенням основних іонів, мікрокомпонентів і глинистих частинок;

3) зв'язаний азот у вигляді йонів амонію та нітратів. Особливо гострою проблема нітратного забруднення є на територіях надмірного споживання чи неправильного зберігання мінеральних та органічних добрив, через незадовільну роботу очисних споруд і надходження недостатньо очищених стічних вод, через недотримання санітарно-гігієнічних норм у разі облаштування домогосподарств у зонах санітарної охорони річок та водозаборів ґрунтових вод (безпечно розташування колодязів, каптажів, копанок, які мають незначну глибину і живляться забрудненими водами вигрібних ям, сміттєзвалищ);

4) засоби захисту рослин: пестициди, гербіциди, фунгіциди. Очевидно, що найбільший “внесок” у погіршення якості води цими компонентами робить інтенсивне сільське господарство;

5) важкі метали: свинець, ртуть, кадмій, арсен, ртуть та ін. “Внесок” у погіршення якості води цими компонентами роблять як техногенні чинники – стихійні сміттєзвалища, так і природні геохімічні процеси вилуговування з корінних порід.

Незважаючи на різноманіття чинників забруднення води басейну р. Стрий, стійкого погіршення якості води у ній не простежується. Причиною цього є процеси самоочищення природних вод [2, 4]. Самоочищення природних вод – це сукупність фізичних, гідродинамічних (розведення, перемішування), фізико-хімічних, хімічних і біохімічних процесів, які зумовлюють зниження концентрації забруднювачів у воді [12].

Хімічні процеси самоочищення ґрунтуються на механізмах, в основі яких є різного типу хімічні реакції, що супроводжуються утворенням малорозчинних, малодисоційованих, газоподібних та інших сполук. Такими процесами є осадження, окиснення, комплексоутворення, гідроліз, фотоліз, а також газообмін на межі поділу атмосфера–вода (поглинання газів, що входять до складу атмосферного повітря). Біохімічні процеси відбуваються за участю живих організмів: фото- і хемосинтез, біоаккумуляція окремих хімічних елементів, процеси метаболізму та взаємодія їхніх продуктів між собою чи з компонентами води [5]. Самоочищення відбувається внаслідок розведення мінералізованих вод прісними, що потрапили у водне середовище, осідання завислих часток на дно, процесів окиснення органічних решток, фагоцитозу макро- й мікроорганізмами, видового антагонізму.

Потенційне надходження компонентів-забруднювачів у природні води р. Стрий, підживлення річковою водою алювіального водоносного горизонту Стрийського родовища підземних вод, його незахищеність та слабка захищеність – усе це потребує об'єктивної оцінки бар'єрних функцій ландшафтів у басейні р. Стрий [6].

За О. Перельманом, геохімічний бар'єр – це “ділянки земної кори, де на короткій відстані відбувається зменшення міграції хімічних елементів і, як наслідок, їхня концентрація” [10]. За класифікацією вченого, бар'єри за напрямом руху вод поділяють на латеральні й вертикальні, за способом масоперенесення – на дифузійні та інфільтраційні. Для характеристики більших за площею ландшафтів уживають термін *ландшафтно-геохімічні бар'єри*, які класифіковано на такі типи: біогеохімічні, фізико-хімічні, механічні та техногенні. За визначенням М. Глазовської, під ландшафтно-геохімічним бар'єром треба розуміти блок системи чи ділянку, де простежується різка зміна фізико-хімічних або термодинамічних умов: окисно-відновних, кислотно-лужних, фільтраційно-сорбційних, седиментаційних, біогеохімічних, а також температури й тиску, де низка

речовин втрачає рухомість, трансформується в інертні нерозчинні форми та накопичується, очищуючи потоки речовин і обмежуючи сферу забруднення [3]. За механізмом зміни швидкості міграції ландшафтно-геохімічні бар'єри поділяють на відновлювальні, окиснювальні, кислотно-лужні, карбонатні, сорбційні, термодинамічні, випаровувальні, механічні, біогеохімічні, техногенні та комплексні [3, 8, 10].

За механізмом дії комплексні геохімічні бар'єри – це просторове накладення один на одного (зазвичай, із розбіжністю меж) кількох класів геохімічних бар'єрів. Переважно комплексні бар'єри накладаються один на одного, генетично пов'язані між собою і є найпоширенішими в межах гірських ландшафтів. На наш погляд, найпоширенішими комплексними геохімічними бар'єрами, які найактивніше впливають на якість природних вод у басейні р. Стрий, є мінерально-сорбційний та киснево-кавітаційний.

Під мінерально-сорбційним (або глинисто-сорбційним) бар'єром розуміють локальну специфічну геохімічну підсистему, яка містить у достатній кількості мінерали з сорбційними властивостями, стійка до зовнішнього впливу протягом тривалого періоду, здатна пропускати крізь себе природні води та змінювати їхній хімічний склад завдяки процесам сорбції й десорбції. Стійкість мінерально-сорбційного бар'єра забезпечена літологічним скелетом – грубоуламковим матеріалом конусів винесення та зсувних тіл, які перегородили тимчасові чи постійні водотоки, та здатністю утримувати в інтерстиціях або на вищих позначках глинисті мінерали (рис. 4).

Сорбція – це поглинання сорбентами (мінералами, органічною речовиною) сорбатів (газоподібних або рідких компонентів) з навколишнього простору за механізмами абсорбції або об'ємної сорбції та адсорбції або поверхневої сорбції. Відповідно, адсорбція – це процес концентрування речовини на поверхні мінералу (тобто на поверхні поділу фаз), а під час абсорбції відбувається поглинання речовини всім об'ємом мінералу. Адсорбція є найбільш поширеним сорбційним процесом у природних умовах і може мати характер фізичної сорбції, хемосорбції та йонного обміну. Причиною адсорбції є поверхневі явища, які відбуваються на межі поділу фаз. Вони зумовлені тим, що гравітаційні сили, діючи на частинку (атом, молекулу, іон) на поверхні, відрізняються від сил в об'ємі.



Рис. 4. Принципова схема комплексного мінерально-сорбційного бар'єра на прикладі конуса винесення селевого потоку, що розкрив нафтоматеринські породи й зумовив стікання забруднених вод, очищення яких відбулося під час проходження крізь бар'єр.

Сили гравітації, які діють на частинку адсорбенту на поверхні, не скомпенсовані, рівнодійна цих сил не дорівнює нулю і напрямлена перпендикулярно до поверхні всередину. Завдяки цьому поверхня мінералу має адсорбційні властивості. Вона вилучає з міграційного процесу не властиві цій геохімічній системі компоненти, притягуючи й утримуючи їх.

Адсорбція прямо пропорційна до площі поверхні мінеральних частинок і є більшою тоді, коли зростає поверхня поділу фаз. Якщо поверхні поділу фаз невеликі, то роль поверхневих явищ мала, й адсорбція мінімальна. Як відомо, найбільшу площу поверхні мають глинисті мінерали, що зумовлено їхніми кристалохімічними особливостями. Ось чому лише наявність глинистих мінералів є визначальною у можливості функціонування мінерально-сорбційних геохімічних бар'єрів. Адсорбція розчинених речовин на поверхні глинистих мінеральних агрегатів є одним із головних чинників, що стримують забруднення природних вод. Процес поглинання речовини глинистими мінералами часто супроводжується дифузією розчинених компонентів усередину зерен мінеральних агрегатів (тобто має абсорбційний характер).

Ми досліджували аргілітову та глинисту складові проб з геохімічних бар'єрів, виявлених під час польових робіт. У лабораторних умовах вивчено взаємодію відібраних зрізків із забрудненої води з високим вмістом завислих частинок і нафтопродуктами. З'ясовано, що зрізків з оптимальним співвідношенням грубоуламкового скелета та глинистих мінералів на рівні 1 : 4 репрезентують найефективніші мінерально-сорбційні бар'єри.

Для визначення потенціалу мінерально-сорбційних геохімічних бар'єрів у басейні р. Стрий ми опробували корінні аргіліти, що виходять на денну поверхню, з відкладів стрийської, ямненської, манявської, вигодської, бистрицької світ, нафтоматеринських кросненських і менілітових відкладів та визначили їхній мінеральний склад методом рентгенодифракційного аналізу (рис. 5).

Мінерально-сорбційні бар'єри є найефективнішими геохімічними бар'єрами. В ідеальному модельному випадку за простих форм міграції елементів такі бар'єри здатні знижувати концентрацію забруднювачів до фонових значень, тобто природно очищати потенційно забруднену воду. Проте реальні геохімічні системи не завжди відповідають модельним умовам. Сорбційні процеси в таких системах обмежені сорбційною ємністю сорбентів.

Проведеними дослідженнями з'ясовано, що аргіліти всіх без винятку досліджених стратиграфічних підрозділів у зоні гіпергенезу є потенційними мінерально-сорбційними бар'єрами. Найбільший сорбційний потенціал характерний для менілітової та кросненської світ, яким властиве домінування хлориту, гідрослюди і хлорит-монтморилоніту за підпорядкованого значення кварцу, польового шпату та наявності буфера для кислих вод – карбонатів (кальциту й доломіту). Для кори звітрювання кросненської світи – ґрунтової основи Боринського сміттєзвалища – характерне домінування хлориту й гідрослюди, підпорядковане значення кварцу і польових шпатів, наявність змішаношаруватих утворень. Найменший сорбційний потенціал у відкладів ямненської та бистрицької світ.

Під киснево-кавітаційним бар'єром розуміють локальну геохімічну природну чи штучну перешкоду в руслі водного потоку (водоспад, поріг, пережат, каскад), у разі проходження крізь яку відбувається активізація кавітаційних явищ, що призводить до різкого збільшення швидкості руху води, її розбризкування, спінування та, як наслідок, максимального насичення води розчиненим киснем (рис. 6, 7).

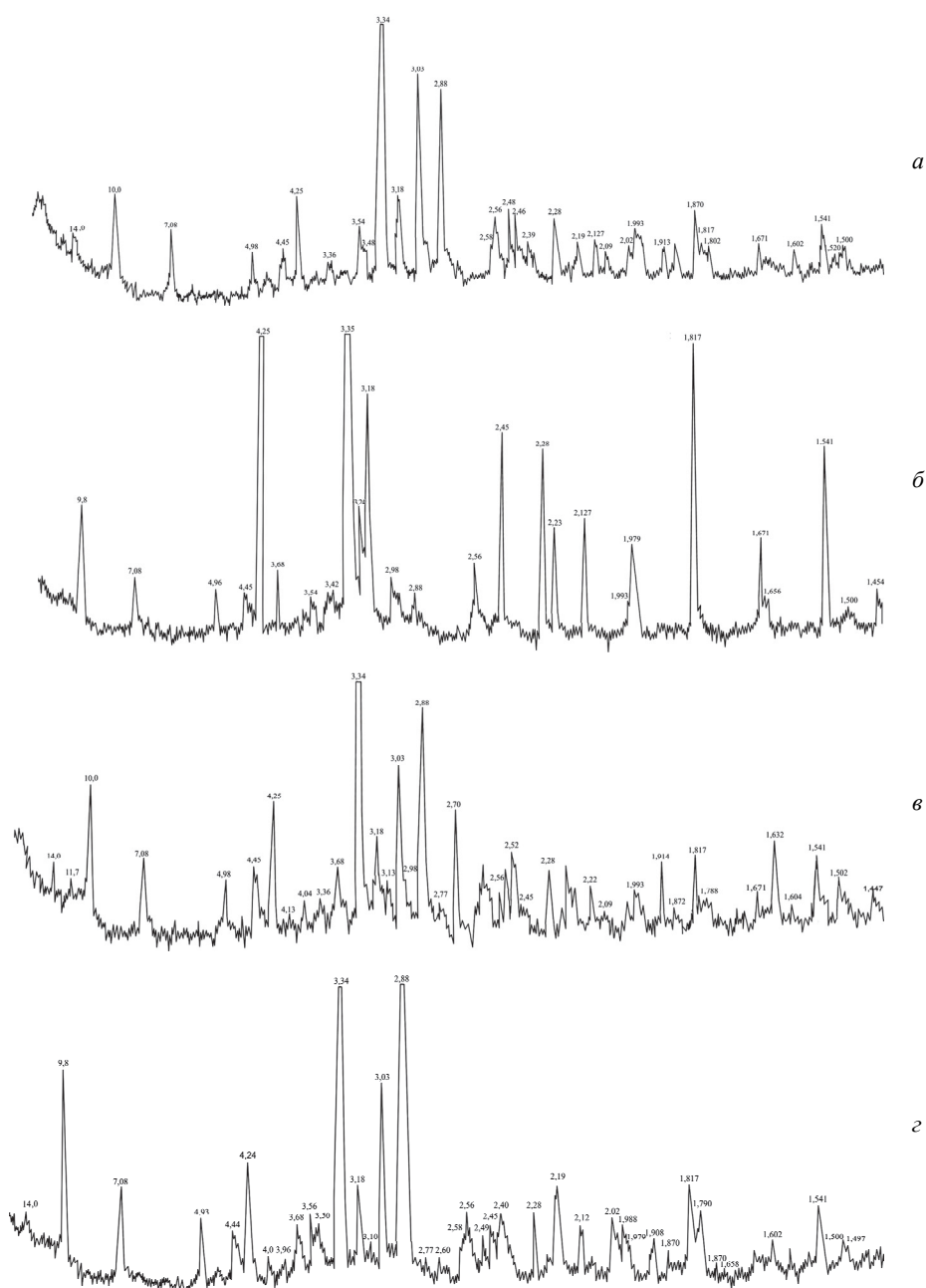
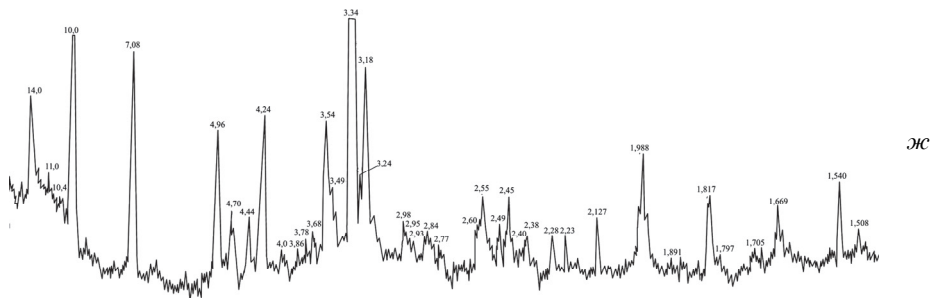
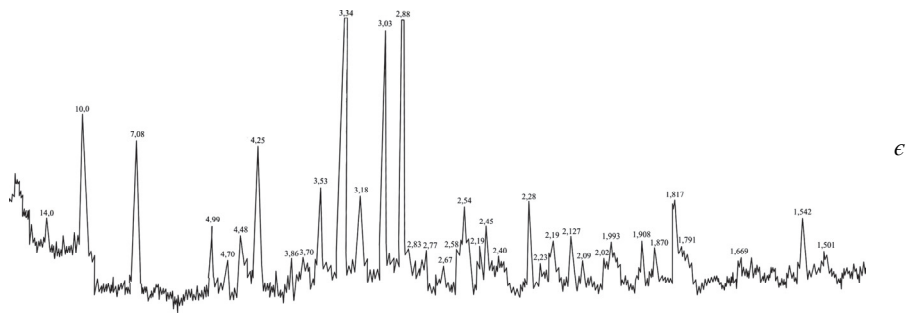
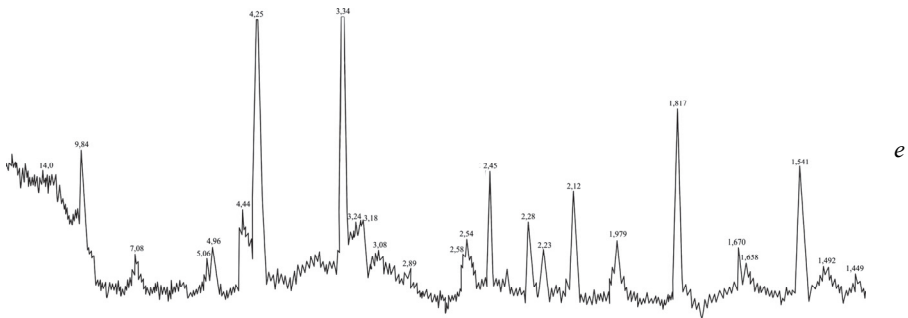
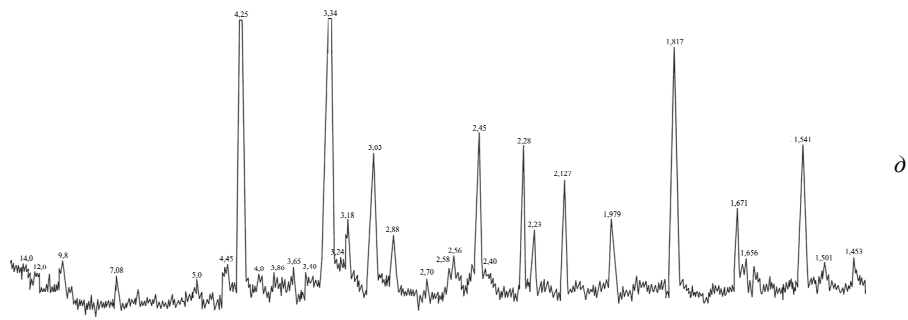


Рис. 5. Дифрактограми глинистої фракції аргілітів, Å:

a – стрійська світа (гідрослюда, кальцит, доломіт, польовий шпат, кварц, хлорит); *б* – яменська світа (кварц, польовий шпат, гідрослюда, кальцит, доломіт, хлорит); *в* – манявська світа (гідрослюда, кварц, доломіт, польовий шпат, монтморилоніт, змішаношаруваті утворення, пірит); *г* – вигодська світа (доломіт, гідрослюда, кварц, кальцит, хлорит); *д* – бистрицька світа (кварц, кальцит, польовий шпат,



доломіт, гідрослюда, хлорит); *e* – менілітова світа (хлорит-монтморилоніт, кварц, польовий шпат, гідрослюда); *e* – кросненська світа (хлорит, гідрослюда, кварц, польовий шпат, кальцит, доломіт); *ж* – ґрунтова основа Боринського сміттєзвалища – кора звітрювання аргілітів кросненської світи (хлорит, гідрослюда, кварц, польовий шпат, змішаношаруваті утворення).



Рис. 6. Природний водоспад у руслі р. Кам'янка, правого допливу р. Опір.



Рис. 7. Каскад штучних водоспадів у руслі р. Східничанка.

Природні водоспади в басейні р. Стрий утворюються лише там, де корінні породи в руслах річок достатньо стійкі до ерозійного розмивання, а прошарки, що залягають нижче, значно легше піддаються денудації водним потоком, як, наприклад, у ритмічній послідовності флішової формації – стійкий пісковик, менш стійкий алевроліт та нестійкий аргіліт, прошарки пісковиків формують уступ водоспаду й пороги, в алевролітах та аргілітах виникає водобійна ніша (рис. 8).

У процесі руйнування уступу під ерозійним впливом проточної води водоспади й пороги пересуваються вгору за течією. Місце, звідки падає вода, поступово зсувається, стає нижчим, або водний потік швидко стікає з уступу на уступ, утворюючи ланцюжок великих і малих водоспадів, які називають каскадами.



Рис. 8. Модель формування водоспадів і порогів та насичення води розчиненим киснем у флішовій формації басейну р. Стрий.

Іноді вода настільки руйнує уступ, що промиває в стрімкому обриві ложе, і тому не падає вертикально, а скочується по скелястому жолобу. За таких умов формуються водоскати. Дуже часто водоспади – це складна система з водоскатів і каскадів, як це є на р. Кам'янка – правому допливі р. Опір. Водоспади у басейні р. Стрий здебільшого приурочені до ділянок перетину водотоків і виходів на денну поверхню найстійкіших до ерозійного розмивання масивних пісковиків ямненської світи [13].

Часто на водоспадах між потоком води, що вільно падає, до водобійної ніші та скельним виходом гірської породи утворюється вільний простір, причиною формування якого є явища кавітації й кавітаційної ерозії. Під кавітацією розуміють явище розриву суцільності води з утворенням кавітаційних мікробульбашок, заповнених водяною парою, киснем, азотом, зумовлене зниженням тиску, або так зване холодне кипіння води [15]. Передумовою цього явища є порушення цілісності водного потоку, його кавітаційне розширення в разі переходу на ділянку вільного падіння води, зародження та зростання в розмірах кавітаційних мікробульбашок, їхнє стиснення, колапсування та саморуйнування з супутнім дезінтеграційним впливом на найближчу до них поверхню гірської породи, з розбризкуванням крапель води, що призводить до розмокання нестійких аргілітів та їхньої ерозії, а також насичення води розчиненим киснем (рис. 9).

Під час кавітаційного стиснення та колапсування бульбашок в об'ємі води всередині кожної з них виникає тиск до 1 000 атм [9]. Кавітаційні бульбашки, потрапляючи в зону підвищеного тиску, тріскають (замикаються, конденсуються) кумулятивними струменями в точки. У цих точках, а їх – величезна кількість, кумулятивні ефекти призводять до точкового підвищення тиску. Крім того, різке колапсування кавітаційних бульбашок зумовлює утворення гідравлічних ударів і, як наслідок, створення хвилі стиснення й розтягування в рідині з ультразвуковою частотою. Якщо ударна хвиля натрапляє на своєму шляху на перешкоду, то вона руйнує її поверхню. Енергія бульбашок, що колапсують, витрачається на генерування ударних хвиль, на появу у мікрокількостях вільних радикалів і окиснювачів (перекису водню, озону), які так само, як і розчинений кисень, позитивно впливають на якість води і змінюють її геохімічні властивості. Нині це є експериментально визначеним фактом [1, 9, 15].

Отже, у розбризкуваних краплях води за описаним вище механізмом гідродинамічної кавітації є найбільша насиченість киснем, а основна маса води насичується на ділянках вільного падіння води та у водобійних нішах завдяки активізації кавітаційних явищ.

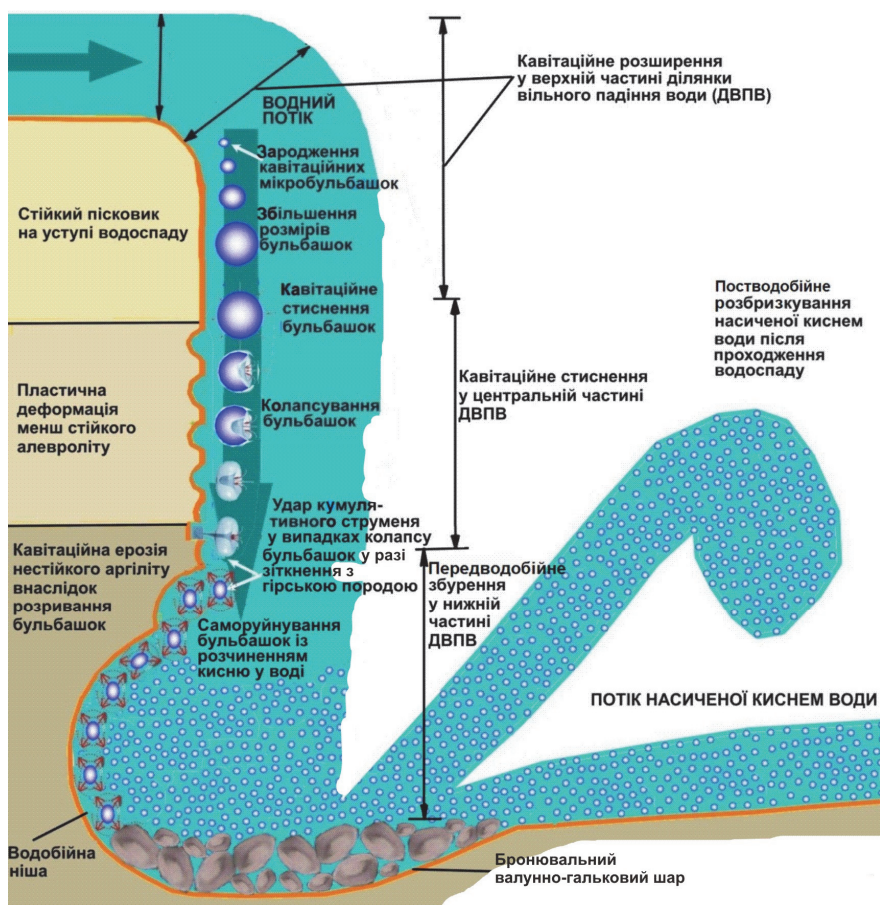


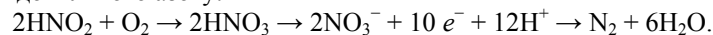
Рис. 9. Модель кавітаційного розширення та стиснення, водобійного збурення водного потоку на різних ділянках вільного падіння води типового водоспаду в басейні р. Стрий, зародження кавітаційних бульбашок, збільшення їхніх розмірів та колапсування з ерозійним впливом у разі удару кумулятивного струменя, насичення води киснем під час саморуїнування бульбашок, розбризкування та наявності потоку води, збагаченої розчиненим киснем.

З наведеного можна зробити однозначний висновок, що після проходження через водоспади, пороги, водоскати та їхні каскади активуються кавітаційні ефекти і вода у гірських водотоках басейну р. Стрий інтенсивно насичується киснем.

Насичена киснем вода є надзвичайно активним геохімічним агентом, який створює сприятливі передумови для окиснення найрізноманітніших органічних забруднень. Самоочищення насичених киснем річкових вод, у які потрапили господарсько-побутові стоки, ґрунтується на процесах нітрифікації та денітрифікації. Нітрифікація – це сукупність реакцій біологічного окиснення амонійного азоту до нітритів і далі до нітратів:

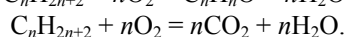
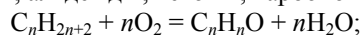


У процесі денітрифікації відбувається окиснення органічних речовин за відновлення азоту нітратів до вільного азоту:



Для нітратів у реакції нітрифікації на 2 масові частки азоту треба 6 масових часток кисню, а для утворення нітратів у реакції денітрифікації – ще 2 масові частки кисню, тобто загалом 8 масових часток. З урахуванням атомної маси у реакціях нітрифікації та денітрифікації на 1 мг азоту необхідно 4,57 мг кисню.

Самоочищення насичених киснем річкових вод, у які потрапили нафта й нафтопродукти, ґрунтується на процесах окиснення вуглеводнів з утворенням вуглекислого газу, води, водорозчинних фенолів, альдегідів, кетонів, карбонових кислот:



Унаслідок цих процесів об'єм розлитої на поверхні води нафти суттєво зменшується завдяки високій концентрації розчиненого у воді кисню.

Отже, висока насиченість киснем річкових вод басейну р. Стрий зумовлена проявом комплексного киснево-кавітаційного геохімічного бар'єра, створеного гірським рельєфом території (значні перепади й ухили водотоків) та неоднорідністю геологічної будови, яка є причиною наявності водоспадів, порогів, водоскатів та їхніх каскадів і, як наслідок, активізації кавітаційних явищ з насиченням річкових вод розчинним киснем.

Аналіз окремих допливів різного порядку в басейні р. Стрий засвідчив край неоднорідні прояви комплексного киснево-кавітаційного геохімічного бар'єра, тісно пов'язаного з динамічними змінами ухилу водотоків на різних ділянках. За цим критерієм киснево-кавітаційний бар'єр найяскравіше виявлений на прикладі р. Крушельниця, у басейні якої є виходи нафтоматеринських порід та наявні лісорозробки (рис. 10, 11). Для цієї річки характерне високе значення середнього ухилу (43,35 м/км) та виявлено три найвиразніші ділянки киснево-кавітаційних геохімічних бар'єрів, зумовлені локальними зростаннями ухилу (див. рис. 11).

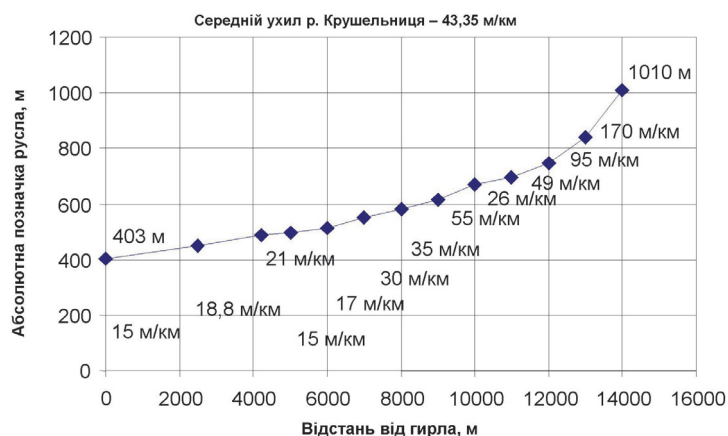


Рис. 10. Загальний профіль русла р. Крушельниця від витоків до гирла з середнім та проміжними ухилами.

Високе значення середнього ухилу 32,67 м/км притаманне і р. Східничанка, у басейні якої є виходи нафтоматеринських порід та нафтогазові промисли (рис. 12). Для цієї річки характерне спадне значення ухилу з лише однією виявленою виразною ділянкою киснево-кавітаційного геохімічного бар'єра, зумовленою локальними зростаннями ухилу біля гирла.

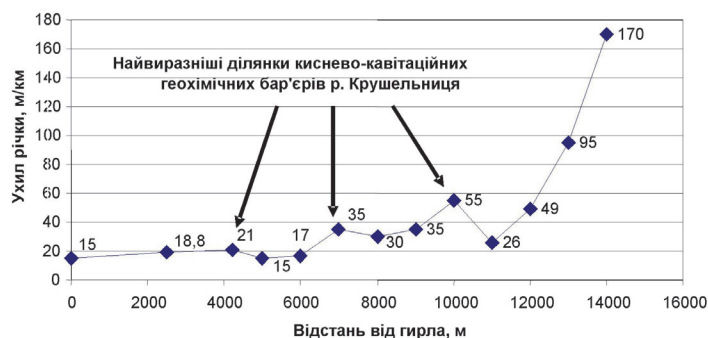


Рис. 11. Профіль локальних ухилів русла р. Крушельниця від витoku до гирла з виявленими найвиразнішими ділянками киснево-кавітаційних геохімічних бар'єрів, зумовлених локальними зростаннями ухилів русла.

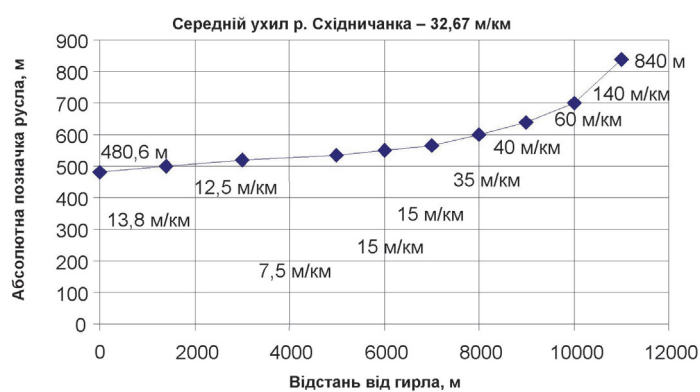


Рис. 12. Загальний профіль русла р. Східничанка від витoku до гирла з середнім та проміжними ухилами.

Найвище значення середнього ухилу 48,5 м/км визначене для р. Опорець, у басейні якої нині є нерекультивовані відвали, що містять нафтовмісні породи, на майданчику будівництва двоколісного Бескидського залізничного тунелю. Для цієї річки характерне різко спадне значення ухилу з лише однією виразною ділянкою киснево-кавітаційного геохімічного бар'єра, зумовленого локальними зростаннями ухилу на відстані 500 м від гирла (рис. 13).

Найслабше виявлений комплексний киснево-кавітаційний геохімічний бар'єр на прикладі р. Яблонька, басейн якої найбільше заселений та освоєний сільським господарством (рис. 14). Для цієї річки характерне найнижче значення середнього ухилу – 6,5 м/км та невеликі (як для гірської річки) значення ухилів на ділянках від витoku до гирла.

Отже, виконані дослідженнями дають змогу зробити такі висновки.

1. Басейн р. Стрий, з одного боку, є однією з екологічно найсприятливіших територій Західної України. А з іншого боку, ресурси території, насамперед ґрунти, гірські ландшафти, корисні копалини та природні води інтенсивно використовують у господарській діяльності.

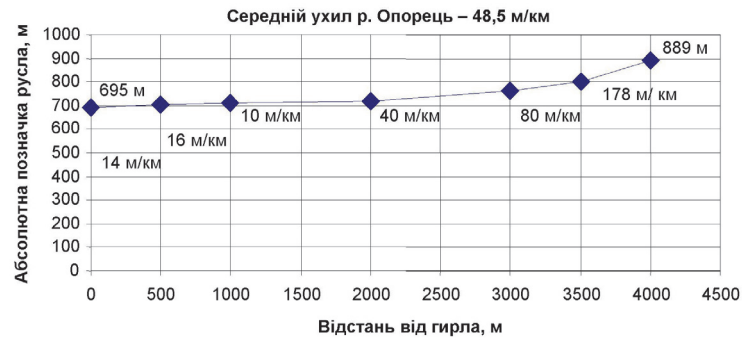


Рис. 13. Загальний профіль русла р. Опорець від витoku до гирла з середнім та проміжними ухилами.

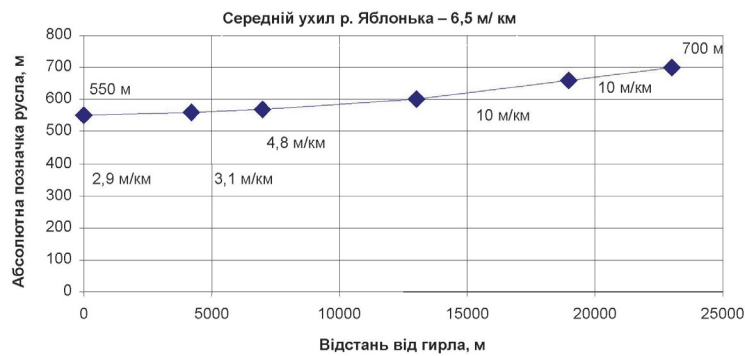


Рис. 14. Загальний профіль русла р. Яблонька від витoku до гирла з середнім та проміжними ухилами.

2. Щораз більше техногенне навантаження, що безпосередньо впливає на якість природних вод у басейні р. Стрий, пов'язане з локалізацією тут промислів нафтогазових родовищ, кар'єрів будового каменю, щебеню та гравійно-галькової суміші, ділянок будівництва великих об'єктів (наприклад, Бескидський двоколіїний залізничний тунель з відсіпанням відвалів зі значним вмістом органічної речовини), магістральних автошляхів, залізниць, газо- й нафтопроводів, населених пунктів з частим недотриманням норм екологічного законодавства щодо обмеження господарської діяльності у визначених санітарно-захисних зонах, лісорозробок, у тім числі на крутих схилах з активізацією небезпечних екзогенних геологічних процесів, скидів недостатньо очищених стічних вод, сільськогосподарських угідь, акумулювання твердих побутових відходів на стихійних сміттєзвалищах тощо.

3. Строкатий літологічний склад корінних порід та визначений методом рентгенодифракційної діагностики мінеральний склад глинистої фракції аргілітів і ґрунтів (домінування гідрослюди, хлориту і кварцу, наявність змішаношаруватих утворень) дає підстави виділити комплексні мінерально-сорбційні геохімічні бар'єри на шляхах поширення нафти й нафтопродуктів, тонкодисперсних, завислих у воді частинок різного речовинного складу, засобів захисту рослин (пестициди, гербіциди, фунгіциди), важких металів. Мінерально-сорбційні бар'єри є найефективнішими геохімічними бар'єрами. В

ідеальному модельному випадку, за умов простих форм міграції елементів, такі бар'єри здатні знижувати концентрації забруднювачів до фонових значень, тобто природно очищувати потенційно забруднену воду до вичерпання їхньої сорбційної ємності.

4. Висока насиченість киснем річкових вод басейну р. Стрий зумовлена проявом комплексного киснево-кавітаційного геохімічного бар'єра, створеного гірським рельєфом території (значні перепади й ухили водотоків) та неоднорідністю геологічної будови (наявність водоспадів, порогів, водоскатів та їхніх каскадів). Насичення річкових вод розчиненим киснем тісно пов'язане з явищем кавітації (утворення кавітаційних мікробульбашок, зумовлене зниженням тиску або так званим холодним кипінням води). Передумовою цього явища є порушення цілісності водного потоку, його кавітаційне розширення та стиснення, водобійне збурення на різних частинах ділянки вільного падіння води, зародження та зростання у розмірах кавітаційних мікробульбашок, їхнє стиснення, колапсування й саморуйнування з супутнім дезінтеграційним впливом на найближчу до них поверхню гірської породи, з розбризкуванням крапель води, що призводить до розмокання нестійких аргілітів та їхньої ерозії, а також насичення води розчиненим киснем.

Аналіз окремих допливів різного порядку в басейні р. Стрий засвідчив укрвай неоднорідні прояви комплексного киснево-кавітаційного геохімічного бар'єра. Зокрема, найяскравіше він виявлений на прикладі р. Крушельниця, у басейні якої є виходи нафтоматеринських порід і наявні лісорозробки. Для цієї річки характерне високе значення середнього ухилу (43,35 м/км) та виявлено три найвиразніші ділянки киснево-кавітаційних геохімічних бар'єрів, зумовлені локальними зростаннями ухилу. Найслабкіше виявлений киснево-кавітаційний геохімічний бар'єр на прикладі р. Яблонька, басейн якої найбільше заселений та освоєний у сільському господарстві. Для цієї річки характерне найнижче значення середнього ухилу (6,5 м/км) та невеликі (як для гірської річки) значення ухилів на ділянках від витоків до гирла.

5. Завдяки строкатому мінеральному складові корінних порід і ґрунтів, пересіченості гірського рельєфу, вологому клімату, багатоводності, турбулентності водотоків, наявності водоспадів, порогів, водоскатів та їхніх каскадів, збагаченості річкових вод розчиненим киснем за умови прямої дії мінерально-сорбційного й киснево-кавітаційного геохімічних бар'єрів, багаторазовому розведенню та здатності ландшафтів до відновлення природні води р. Стрий мають потужний потенціал до самоочищення, незважаючи на значне техногенне навантаження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Витенько Т. Н. Механизм активирующего действия гидродинамической кавитации на воду / Т. Н. Витенько, Я. М. Гумницкий // Химия и технология воды. – 2007. – Т. 29, № 5. – С. 422–432.
2. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды : [Справочные материалы] / [Т. В. Гусева, Я. П. Молчанова, Е. А. Заика и др.]. – М. : Эколайн, 2000. – 266 с.
3. Глазовская М. А. Теория геохимии ландшафтов в приложении к изучению техногенных потоков рассеяния и анализу природных систем к самоочищению / М. А. Глазовская // Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состояние экосистем. – М., 1981. – С. 7–41.

4. Голубев В. С. Гетерогенные процессы геохимической миграции / В. С. Голубев, А. А. Гарибянц. – М. : Недра, 1968. – 192 с.
5. Зенин А. А. Гидрохимический словарь / А. А. Зенин, Н. В. Белоусова. – Л. : Гидрометеоздат, 1988. – 240 с.
6. Колодій В. В. Еколого-гідрогеохімічна характеристика рік північно-східного макросхилу Українських Карпат / В. В. Колодій // Праці наук. т-ва імені Шевченка. – 2003. – Т. 12. – С. 126–134.
7. Кравчук Я. С. Геоморфологія Скибових Карпат / Я. С. Кравчук. – Львів : Видав. центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2005. – 232 с.
8. Максимович Н. Г. Техногенные геохимические барьеры как основа природоохранных технологий / Н. Г. Максимович, Е. А. Хайрулина // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование : Всерос. симпозиум с международным участием и 8 Всерос. чтения памяти А. Е. Ферсмана : труды. Чита, 2008. – С. 16–20.
9. Мороз Н. А. Гидродинамическая кавитация воды и ее использование в абсорбционных технологиях очистки промышленных газов / Н. А. Мороз // Вопр. химии и хим. технологии. – 2013 – № 6. – С. 105–107.
10. Перельман А. И. Геохимия / А. И. Перельман. – М., 1989. – 528 с.
11. Природа Львівської області / [За ред. К. І. Геренчука]. – Львів : Вища школа, 1972. – 151 с.
12. Протасова Н. А. Геохимия природных ландшафтов / Н. А. Протасова. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2008. – 36 с.
13. Рудько Г. Інженерно-геоморфологічний аналіз Карпатського регіону України / Г. Рудько, Я. Кравчук. – Львів, 2002. – 172 с.
14. Цись П. Н. Геоморфологія УРСР / П. Н. Цись. – Львів : Вид-во при Львів. ун-ті, 1962. – 224 с.
15. Young F. R. Cavitation / F. R. Young. – London : Imperial College Press, 1999. – 418 p.

*Стаття: надійшла до редакції 16.10.2014
прийнята до друку 02.12.2014*

**MINERAL-SORPTION AND OXYGEN-CAVITATION INTEGRATED
GEOCHEMICAL BARRIERS AT MIGRATION SITES
OF POTENTIALLY CONTAMINATED WATERS
IN THE RIVER STRYI BASIN**

Yu. Borutska, V. Dyakiv

*Ivan Franko National University of Lviv,
4, Hrushevskiy St., 79005 Lviv, Ukraine
E-mail: Borutska_Yulya@ukr.net
dyakivw@yahoo.com*

Geo-ecological, mineralogical and geochemical investigations in the river Stryi basin have been carried out. It has been found that the most common complex geochemical barriers that actively influence the quality of natural water in the Stryi basin are the mineral-sorption and oxygen-cavitation. Despite the significant human impacts, natural waters of Stryi-river have a strong capability of self-purification. This is due to factors such as variegated mineral composition of bedrock and soils, crossing mountain terrain, humid climate, high water, watercourses turbulence, presence of waterfalls, rapids and cascades and the enrichment of river water by dissolved oxygen. A necessary condition is the direct effect of complex mineral-sorption and oxygen-cavitation geochemical barriers, multiple dilution of water and the ability of landscapes to restore.

Key words: mineral-sorption geochemical barrier, oxygen-cavitation geochemical barrier, clay minerals, self-purification of natural waters, river Stryi basin, human impacts.

**МИНЕРАЛЬНО-СОРБЦИОННЫЕ И КИСЛОРОДНО-
КАВИТАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ
БАРЬЕРЫ НА УЧАСТКАХ МИГРАЦИИ
ПОТЕНЦИАЛЬНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПРИРОДНЫХ ВОД
В БАССЕЙНЕ р. СТРИЙ**

Ю. Боруцкая, В. Дякив

*Львовский национальный университет имени Ивана Франко,
ул. Грушевского, 4, 79005 г. Львов, Украина
E-mail: Borutska_Yulya@ukr.net
dyakivw@yahoo.com*

Проведено геоэкологические и минералого-геохимические исследования бассейна р. Стрий. Установлено, что наиболее распространенными комплексными геохимическими барьерами, которые активно влияют на качество природных вод в бассейне р. Стрий, являются минерально-сорбционный и кислородно-кавитационный. Несмотря на значительную техногенную нагрузку, природным водам р. Стрий присущ мощный потенциал самоочищения. Это связано с такими факторами, как пестрый минеральный состав коренных

пород и грунтов, пересеченность горного рельефа, влажный климат, многоводность, турбулентность водотоков, наличие водопадов, порогов, водоскатов и их каскадов, обогащенность речных вод растворенным кислородом. Необходимыми условиями являются прямое действие комплексных минерально-сорбционного и кислородно-кавитационного геохимических барьеров, многократное разбавление воды и способность ландшафтов к восстановлению.

Ключевые слова: минерально-сорбционный геохимический барьер, кислородно-кавитационный геохимический барьер, глинистые минералы, самоочищение природных вод, бассейн р. Стрый, техногенная нагрузка.