

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 622.84:543.422

О. Полевич, канд. техн. наук, доц., заст. декана з наук. роботи, каф. соціально-економічної географії та регіоназнавства, E-mail: oleg.polevich@mail.ru, тел.: 095 889-74-77,
О. Чуєнко, зав. міжфакультетської навч. лабораторії по дослідженню порід, мінералів та викопних організмів, E-mail: chuenco77@mail.ru, тел.: 095 892-18-32,
І. Удалов, канд. техн. наук, доц., зав. каф. гідрогеології, факультет геології, географії, рекреації і туризму, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, пл. Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна

ПОТОКИ ТЕХНОГЕННИХ ҐРУНТОВИХ ВОД, ВИЗНАЧЕННЯ ШЛЯХІВ ЇХ РУХУ ТА СТВОРЕННЯ НА НИХ ШТУЧНИХ ГЕОХІМІЧНИХ БАР'ЄРІВ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О. Є. Кошляковим та д-ром техн. наук О. М. Касімовим)

Потоки техногенних ґрунтових вод являють собою проблему світового масштабу, оскільки вони є джерелом та розповсюджувачем багатьох шкідливих та токсичних елементів, що надходять до довкілля. Техногенні потоки ґрунтових вод включаються у гіпергенні цикли міграції, в результаті чого суттєвим чином змінюється не тільки гідрохімічний тип ґрунтових та інших природних вод, а й стан ландшафтів.

Актуальним природоохоронним завданням на даний час є своєчасне відстеження в техногенних потоках ґрунтових вод шляхів міграції забруднюючих речовин і хімічних елементів. Це дозволяє виявити найбільш забруднені ділянки та заздалегідь ужити відповідних захисних заходів.

Мета. Розробка алгоритму виявлення шляхів руху потоків техногенних ґрунтових вод від зони живлення до зони розвантаження та методології створення на їх шляху штучних геохімічних бар'єрів для блокування розповсюдження важких металів.

Методи. Виявлення шляхів руху потоків техногенних ґрунтових вод здійснюється способом кушового випробування із запусканням та реєстрацією індикаторів у цих потоках. Реєстрація індикаторів (визначення вмісту важких металів у ґрунтових водах) здійснюється методом рентгенофлуоресцентного аналізу на багатоканальному спектрометрі СРМ-25.

Результати. Викладено загальні принципи, розроблено та реалізовано алгоритм виявлення шляхів руху потоків техногенних ґрунтових вод від джерела забруднення до області розвантаження. Розроблено та апробовано метод створення на шляху техногенних потоків ґрунтових вод штучних геохімічних бар'єрів на основі щавлево-алюмосилікатних гелів, що приведе до зниження концентрації шкідливих елементів у цих потоках і запобігатиме розповсюдженню цих елементів у ґрунтах та питних підземних водах.

Наукова новизна. Розроблений алгоритм виявлення шляхів руху потоків техногенних ґрунтових вод дозволяє розв'язати зворотну задачу – виявлення джерел забруднення досліджуваних об'єктів, розташованих у області розвантаження цих потоків. Удосконалені методи рентгенофлуоресцентного аналізу суттєво покращують його метрологічні показники, стануть корисними для експресного та дешевого визначення елементного складу зразків об'єктів довкілля та для досліджень просторово-часового розподілу елементів практично в умовах реального часу.

Практична значимість. Виконані дослідження та їх результати дозволили отримати нові відомості щодо поведінки важких металів на шляхах руху техногенних ґрунтових вод та їх впливу на екологічний стан суміжних ландшафтів. Розроблені нові процедури виявлення шляхів руху потоків техногенних ґрунтових вод та спостереження за динамікою цих потоків дозволяють у термінових випадках створювати спеціальні редиментаційні бар'єри для блокування розповсюдження важких металів, що надає можливість своєчасно коригувати природоохоронні та водоохоронні заходи.

Ключові слова: техногенні потоки ґрунтових вод, алгоритм виявлення шляхів руху потоків ґрунтових вод, штучні геохімічні бар'єри, щавлево-алюмосилікатний гель, рентгенофлуоресцентний аналіз.

Актуальність дослідження. У зв'язку зі скороченням за останні роки промислового виробництва, на території України зменшилась кількість нових техногенних відходів. Але та кількість промислових стічних вод, твердих відходів, викидів у атмосферу, що створюють породні відвали, які були накопичені за багато років, продовжують і далі впливати на якісний стан підземних вод [10, 11, 13].

У природних умовах процес руху розчинів у ґрунтах являє собою комплекс взаємопов'язаних фізико-механічних та фізико-хімічних процесів, головними з яких є: фільтрація розчину, що відбувається у однорідних і анізотропних породах та супроводжується витісненням з них пластової води; конвективна (фільтраційна) дифузія або гідродинамічна дисперсія, що обумовлена неоднорідністю поля швидкостей фільтраційного потоку; фізико-хімічна взаємодія (масообмін) між розчинами, що рухаються, і породами пласту та пластовими рідинами.

Якість підземних вод може погіршуватися внаслідок надходження різних забруднюючих речовин і хімічних елементів до водоносних горизонтів. Це відбувається, переважно, в районах розташування великих промислових і сільськогосподарських підприємств та поверхневих сховищ відходів – накопичувачів, золовідвалів, хвосто- і шламсховищ тощо.

В умовах непорушеного стоку будь-який водоносний горизонт являє собою збалансовану систему. В процесі його експлуатації баланс води водоносного горизонту суттєво змінюється. Хімічний склад підземних вод є кінцевим продуктом впливу не одного, а певної сукупності природних і техногенних процесів (умов живлення, транзиту та розвантаження, йонного обміну, антропогенного забруднення та ін.). Вплив цих процесів позначається на взаємопов'язаній зміні вмісту хімічних елементів та характері зв'язків між ними. Але ці зв'язки між компонентами підземних вод у "чистому вигляді" не зберігаються. Кореляційні залежності між змінними, що спостерігаються, фактично є кінцевим результатом дії усієї сукупності процесів.

Гідродинамічний режим підземних вод визначається умовами живлення, транзиту та розвантаження. Живлення підземних вод здійснюється за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, перетоків води у нижче- та вищезалегаючі водоносні горизонти. Розвантаження відбувається у долинах річок та балок. Гідрохімічний режим підземних вод визначається похідним сольовим складом водовміщуючих порід і взаємодією їх з інфільтраційними водами [1, 3, 4].

Під впливом техногенних факторів суттєво змінюється режим підземних вод: глибина залягання та тов-

щина водоносних горизонтів, швидкість та напрямок їх руху, мінералізація та хімічний склад.

Найбільш суттєвим видом забруднення природного середовища (атмосферне повітря, ґрунти, поверхневі та підземні, в тому числі й ґрунтові, води) є хімічне забруднення. Виділяється кілька видів хімічного забруднення. Найбільш шкідливим є забруднення важкими металами (ВМ) – Cr, Cu, Zn, Cd, Co, Pb, As, Hg та ін. Джерелами забруднення ВМ є хвости чорної та кольорової металургії, шламонакопичувачі, золівідвали, терикони, автотранспорт тощо. На якість підземних вод також суттєво впливають численні осередки забруднення, що знаходяться в зоні впливу водозаборів. Тут підземні води забруднені, головним чином, хлоридами, сульфатами, аміаком, фенолами, нафтопродуктами та ВМ, концентрації яких у окремих випадках у кілька разів перевищують норми гранично допустимих концентрацій (ГДК).

Вплив людської діяльності на геологічне середовище призводить до формування у верхніх шарах літосфери певних техногенно-геохімічних систем – зон, де породи набувають відмінних від первинного складу фізико-механічних, фільтраційних та інших властивостей. Це, в свою чергу, призводить до зміни напруженого стану масивів порід, гідродинамічного та геотермічного режимів. Тому можна говорити про техногенний катагенез ґрунтів та гірських порід, що набуває все більшого розповсюдження.

Під техногенним катагенезом слід розуміти не тільки метаморфізацію гірських порід під впливом розчинення, цементації, ущільнення тощо, але й накопичення в них забруднюючих речовин, наприклад, ВМ, формування нових геохімічних бар'єрів (ГБ) і навіть техногенних родовищ корисних копалин шляхом накопичення відходів збагачувальних підприємств [1, 4, 6, 11, 12].

Довготермінові техногенні зміни підземних вод та ґрунтових екосистем залежать від динаміки основних режимоутворюючих факторів та параметрів техногенного навантаження.

Найбільших змін зазнають підземні води, розташовані поблизу поверхні землі. Такими є ґрунтові та підземні води перших від поверхні напірних водоносних горизонтів, які складають зону активного водообміну. Вона характеризується порівняно високими швидкостями пересування підземних вод у водоносному горизонті та, як наслідок, відносно нетривалим часом їх руху від області живлення до області розвантаження.

Техногенні ґрунтові води є основним переносником забруднювачів (ВМ) у природних ландшафтах від зони живлення й джерел забруднення вздовж потоку до зони розвантаження. Таке розповсюдження ВМ викликає забруднення ландшафтів на всьому шляху їх переносу.

Своєчасне відстеження динаміки процесу міграції забруднюючих елементів (ВМ) вздовж встановленого шляху потоку техногенних ґрунтових вод дозволить локалізувати найбільш небезпечні ділянки шляху руху ВМ і заздалегідь приймати відповідні захисні заходи.

Тому метою нашої роботи є розробка алгоритму виявлення шляхів руху потоків техногенних ґрунтових вод від зони живлення до зони розвантаження та методології створення на шляху цих потоків штучних геохімічних бар'єрів для блокування розповсюдження ВМ.

Виклад основного матеріалу

1. Виявлення шляхів руху потоків техногенних ґрунтових вод. Виявлення шляхів руху потоків техногенних ґрунтових вод включає як початковий етап визначення джерел забруднення (безпосереднє скидання шкідливих речовин з діючих промислових підприємств або міграція забруднень від сховищ відходів) та визначення місця формування потоку техногенних ґрунтових вод, тобто місця початкового забруднення ґрунтових вод хімічними елементами й речовинами. Це викликає не-

обхідність здійснення певних заходів еколого-гідрологічного та еколого-гідрохімічного характеру.

При виконанні еколого-гідрологічних досліджень при відсутності даних гідрогеологічної розвідки слід встановити такі фактори:

- наявність водоносних горизонтів, які можуть зазнавати негативного впливу джерел забруднення;
- живлення підземних вод у зоні негативного впливу на них джерела забруднення;
- умови залягання, розповсюдження та природна або техногенна захищеність водоносних горизонтів (особливо, перших від поверхні);
- склад, фільтраційні та сорбційні властивості зони аерації й водовміщуючих порід та їх просторова мінливість;
- наявність верховодки;
- глибина залягання першого від поверхні регіонального водотриву та локальних слабопроникних розділяючих шарів;
- основні закономірності руху та режиму ґрунтових вод, наявність і характер гідравлічного взаємозв'язку між водоносними горизонтами та з поверхневими водами;
- можливі умови для формування нових водоносних горизонтів та верховодки під впливом господарської діяльності;
- температура та хімічний склад ґрунтових вод, їх забрудненість шкідливими компонентами;
- можливість проникнення у підземні води за транзитом забруднень із поверхневих вод;
- вплив змін у підземних водах на території, що охороняються, та рекреаційні ресурси району;
- можливість, характер і ступінь впливу техногенних факторів на зміну гідрогеологічних умов.

Еколого-гідроекологічні дослідження здійснюються на основі геофільтраційних та геоміграційних моделей. Розміри області геофільтрації та геоміграції визначаються розміром можливого впливу об'єкта-забруднювача на зміну рівнів та забруднення підземних вод.

Для отримання надійних даних щодо напрямку руху потоків ґрунтових вод зазвичай використовуються матеріали режимних спостережень (карти ізоліній за різними періодами часу). Визначення напрямку руху за картами гідроізогіпс вважається основним методом при відсутності карт з достовірними даними про відмітки рівнів у окремих пунктах. Напрямок руху ґрунтових вод можна встановити за допомогою геофізичних (фотографування у свердловинах конусів розповсюдження барвника від точкового джерела, метод зарядженого тіла, заміри інтенсивності конвективного переносу тепла у різних напрямках від датчика, кругові вимірювання природного потенціалу та ін.), радіоіндикаторних та інших методів.

Для визначення напрямку руху потоку техногенних ґрунтових вод від джерела забруднення (підприємства або сховища шкідливих відходів) використовуються різні способи. Одним з найбільш ефективних та репрезентативних є метод використання геофільтраційної моделі ґрунтового потоку.

На основі попередніх якісних даних (отримана інформація щодо наявності потоку ґрунтових вод у безпосередній близькості від місця скиду забруднювачів з діючого підприємства) було розроблено геофільтраційну модель ґрунтового потоку досліджуваної території з розміром кроку мережі близько 50×50 м. Для калібровки використовувались середні значення рівнів у 64 режимних та розвідувальних свердловинах. У процесі калібрування здійснювався цілеспрямований підбір таких геофільтраційних параметрів:

- площинне інфільтраційне живлення;
- випаровування з вільної поверхні ґрунтових вод та транспірація рослинами;
- фільтраційний опір природних і техногенних водойм і водотоків;

▪ фільтраційні втрати техногенних вод зі сховищ (техногенне живлення ґрунтових вод).

За результатами калібрування стандартне відхилення модельних рівнів ґрунтових вод від попередніх натурних даних склало 0,5 м, що не перевищує амплітуди сезонних коливань рівнів ґрунтових вод у досліджуваному районі. При максимальному перепаді рівнів ґрунтових вод, заміряних у межах області моделювання, – близько 20 м – відносна помилка калібрування складає близько 3%, таким чином, результати калібрування можна вважати задовільними. На основі результатів, отриманих при виконанні модельних досліджень та деяких додаткових розрахунків, було визначено первинний напрямок руху потоку техногенних ґрунтових вод від області живлення (рис. 1).

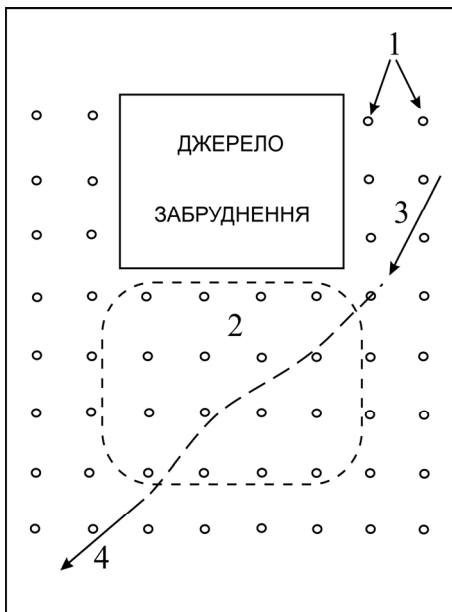


Рис. 1. Визначення первинного напрямку руху потоку техногенних ґрунтових вод за геофільтраційною моделлю: 1 – розвідувальні та режимні свердловини, використані для калібрування геофільтраційної моделі; 2 – область живлення потоку ґрунтових вод; 3 – напрямок наявного природного потоку ґрунтових вод; 4 – первинний напрямок руху потоку техногенних ґрунтових вод

Таким чином, було визначено підприємство-забруднювач та напрямок руху потоку техногенних ґрунтових вод.

Рух ґрунтових вод здійснюється під дією сили гравітації у вигляді потоків у порах або тріщинах порід, що сполучаються між собою. Дзеркало ґрунтових вод певною мірою повторює рельєф поверхні і потоки ґрунто-

вих вод рухаються від підвищених ділянок (починаючи від вододілу ґрунтових вод) до знижених (ярів, річок, озер, морів), де відбувається їх розвантаження у вигляді низхідних джерел (ключів) або прихованим субкавальним способом (наприклад, під дном русла річок, озер та морів). Такі області є областями розвантаження або дренажу. Потік ґрунтових вод спрямований до місць розвантаження, утворює криволінійну депресійну поверхню. Рух ґрунтових вод являє собою фільтрацію. Вона залежить від нахилу дзеркала ґрунтових вод або від гідравлічного (напірного) градієнта, а також від водопроникності гірських порід.

При розробці методики та алгоритму виявлення напрямків руху потоків техногенних ґрунтових вод слід зважати на всі названі вище фактори з урахуванням параметру гідродинамічної дисперсії. Останнім часом значно збільшилася кількість робіт, що стосуються експериментальних досліджень процесів гідродинамічної дисперсії в натурних (польових) умовах [2, 6–9]. Згідно з цими дослідженнями, залежність параметрів дисперсії від розмірів зони випробування порід (середніх відстаней переносу) може бути врахована із застосуванням різних методів експериментального визначення для різних масштабів переносу забруднень (індикаторів):

- локальний масштаб – від 2 до 4 м;
- середній масштаб – від 4 до 20 м;
- великий масштаб – від 20 до 100 м;
- регіональний масштаб – понад 100 м (до кількох км).

Цим масштабам відповідають різні методи індикаторного випробування: одно- та двосвердловинний, кущовий та ін. Для регіонального масштабу, головним чином, застосовуються методи природних індикаторів, режимних спостережень та розв'язання зворотних задач за даними моделювання.

Після встановлення первинного напрямку потоку від області живлення було здійснено саме виявлення напрямків руху потоків техногенних ґрунтових вод за способом кущового випробування із запусканням та реєстрацією індикаторів у цьому потоці.

Як індикатори використано ВМ (Cr, Ni, Cu, Zn, Pb), які містяться в техногенних скидах із джерела забруднення.

Після встановлення первинного напрямку техногенного потоку від області живлення безпосередньо на виході з цієї області проведено відбір проб пульпи зі свердловини S_0 (рис. 2) та виконано кількісний аналіз вмісту індикаторів у пробах. Для відбору проб пульпи застосовано днозабірач Петерсена. Визначення вмісту елементів-індикаторів проводилось методом рентенофлуоресцентного аналізу (РФА) в апаратурній реалізації багатоеlementного рентгенівського квантометра СРМ-25 та методичного й метрологічного забезпечення. Результати вимірювань наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Вміст елементів-індикаторів у пульпі техногенного потоку зі свердловини S_0 , мг/дм³ ($M \pm m$, $n=9$)

| Глибина відбору пульпи, м | Елемент-індикатор | | | | |
|---------------------------|-------------------|-----------|------------|------------|------------|
| | Cr | Ni | Cu | Zn | Pb |
| 5 | 1,12±0,09 | 0,40±0,05 | 2,04±0,09 | 5,05±1,12 | 0,46±0,06 |
| 10 | 2,35±0,86 | 2,01±0,42 | 6,12±1,12 | 21,50±1,28 | 4,08±0,26 |
| 15 | 5,68±2,05 | 5,54±1,37 | 15,63±2,36 | 54,36±3,78 | 11,25±0,98 |
| 20 | 1,73±0,79 | 2,06±0,35 | 7,18±1,34 | 18,34±1,15 | 5,68±0,52 |
| 25 | 0,60±0,07 | 0,56±0,08 | 3,10±0,11 | 6,18±0,08 | 0,25±0,03 |

На основі результатів цих вимірювань, глибина розповсюдження потоку на виході із зони живлення вважається 15 м. Вміст ВМ на цій глибині у свердловині S_0 приймається вмістом запускання індикаторів для способу регіонального кущового випробування [8].

Реалізація виявлення напрямків руху потоків техногенних ґрунтових вод за способом кущового випробування здійснювалася таким чином.

На відстані $L_0 = 150$ м від свердловини S_0 фронтально до первинного напрямку потоку техногенних ґрунто-

вих вод було споруджено низку свердловин на відстані $l=20$ м одна від одної (рис. 2). Проведено реєстрацію

вмісту індикаторів у свердловинах. Результати реєстрації наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Вміст елементів-індикаторів у пульпі свердловин S_{1j} ($j=1, \dots, 5$), мг/дм³ ($M \pm m$, $n=7$), глибина потоку (відбору пульпи) – 18 м

| Елементи-індикатори | Свердловини | | | | |
|---------------------|-------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Cr | 1,12±0,09 | 4,01±0,28 | 1,07±0,09 | 0,56±0,04 | 0,36±0,04 |
| Ni | 0,98±0,08 | 3,96±0,32 | 1,04±0,11 | 0,48±0,06 | 0,26±0,03 |
| Cu | 1,38±0,12 | 12,65±0,63 | 1,46±0,13 | 0,94±0,08 | 0,64±0,07 |
| Zn | 3,62±0,38 | 41,30±2,48 | 3,89±0,44 | 1,22±0,11 | 0,98±0,12 |
| Pb | 1,62±0,15 | 8,12±0,41 | 2,12±0,19 | 0,92±0,09 | 0,67±0,09 |

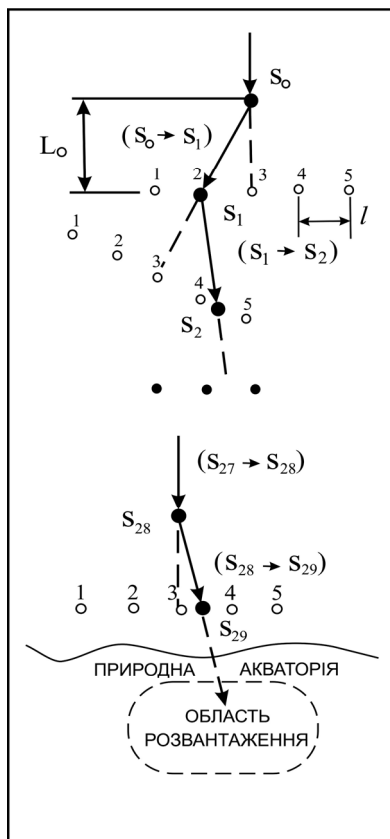


Рис. 2. Виявлення напрямків руху потоків техногенних ґрунтових вод від області живлення до області розвантаження (схема алгоритму)

Глибина відбору проб визначається описаним вище способом (табл. 1).

За результатами кушового випробування елементів-індикаторів у низці свердловин першого кроку (табл. 1) можна впевнено стверджувати, що розподіл відносного вмісту всіх зареєстрованих ВМ є практично однаковим. Тому можна вважати, що для виявлення напрямків руху потоків техногенних ґрунтових вод доцільним є використання одного елемента-індикатора. Таким елементом у нашому випадку було вирішено використовувати Zn.

За результатами реєстрації індикаторів (табл. 2) визначено свердловину S_1 (мак вміст ВМ) та, відповідно, напрямок потоку ($S_0 \rightarrow S_1$).

На наступному кроці фронтально новому напрямку потоку на відстані $L=150$ м (визначається ухилом та іншими ландшафтними умовами) споруджено низку з п'яти свердловин з $l=20$ м та проведено відбір проб пульпи з цих свердловин (рис. 2).

За результатами виконання кількісного аналізу вмісту індикатора (Zn) у низці свердловин другого кроку (табл. 3) визначено свердловину S_2 та, відповідно, наступний напрямок техногенного потоку ($S_1 \rightarrow S_2$) (рис. 2).

За цією послідовністю дій, простежено маршрут руху потоку техногенних ґрунтових вод до області його розвантаження.

Для відстеження маршруту руху потоку техногенних ґрунтових вод за розробленим алгоритмом нами було здійснено 29 кроків. Виявлено, що область розвантаження являє собою велику природну акваторію. Розвантаження потоку техногенних ґрунтових вод відбувається прихованим субаквальним способом під дном цієї акваторії. Результати останнього кроку наведено у табл. 4 та зображено на рис. 2. Напрямок потоку ($S_{28} \rightarrow S_{29}$).

За даним алгоритмом було виконано низку спостережень маршрутів руху потоку техногенних ґрунтових вод території Харківської області та за її межами та виявлено низку локальних ділянок (зон) розвантаження.

Таблиця 3

Вміст елемента-індикатора (Zn) у пульпі свердловин S_{2j} ($j=1, \dots, 5$), мг/дм³, ($M \pm m$, $n=7$), глибина потоку (відбору проб пульпи) – 17 м

| Елемент-індикатор | Свердловини | | | | |
|-------------------|-------------|-----------|-----------|------------|------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Zn | 0,67±0,14 | 4,20±0,46 | 5,81±0,76 | 46,30±3,86 | 18,46±1,24 |

Таблиця 4

Вміст елемента-індикатора (Zn) у пульпі свердловин S_{29j} ($j=1, \dots, 5$), мг/дм³, ($M \pm m$, $n=7$), глибина потоку (відбору проб пульпи) – 12 м

| Елемент-індикатор | Свердловини | | | | |
|-------------------|-------------|-----------|------------|------------|------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Zn | 0,94±0,11 | 9,09±1,11 | 20,21±2,62 | 28,12±3,07 | 14,36±1,92 |

Треба зазначити, що розроблений алгоритм у ряді випадків може бути використаний для розв'язання зворотної задачі, тобто за виявленими областями розвантаження забрудненого потоку техногенних ґрунтових вод шляхом відстеження його маршруту здійснюється виявлення областей живлення потоків (джерел забруднення).

2. Створення штучних геохімічних бар'єрів на маршрутах руху потоків техногенних ґрунтових вод. Застосування штучних геохімічних бар'єрів (ГБ) для охорони природного середовища в різних галузях базується на загальних підходах і принципах геохімії та має ряд суттєвих переваг порівняно з традиційними методами захисту довкілля. Головною особливістю методології геохімії є дослідження процесів міграції, в результаті якої відбувається концентрація та розсіювання хімічних елементів.

Найнегативнішим явищем є неконтрольована міграція елементів або забруднення навколишнього середовища. В районах розташування джерел забруднення формуються техногенні ореоли та потоки розсіювання. Хімічні властивості елементів відіграють провідну роль при міграції у породах, зокрема у вигляді потоків техногенних ґрунтових вод, а розчинність сполук має важливе значення для головних шкідливих елементів, що містяться у цих потоках.

Основним напрямком локалізації забруднюючих речовин є створення умов для концентрації хімічних елементів, тобто цілеспрямоване формування ГБ.

Метою створення штучних ГБ є зниження концентрації ВМ у ґрунтових водах і запобігання розповсюдженню шкідливих елементів у ґрунтах та питних підземних водах.

Одним з важливих моментів є вибір матеріалу для створення штучного ГБ. При визначенні матеріалу слід керуватися такими основними критеріями: бар'єр має ефективно перехоплювати елементи-забруднювачі й утримувати їх протягом розрахункового терміну експлуатації; обраний матеріал мусить мати відносно невисоку вартість; матеріал не повинен бути додатковим джерелом забруднення [12].

У роботі запропоновано один з можливих способів спорудження штучних ГБ для утримання ВМ, що мігрують у техногенних потоках. Утримання ВМ здійснюється шляхом ін'єкції хімічно активних та гелеутворюючих речовин. Такий процес, т.зв. меліорація масивів порід, приводить до формування специфічних утворень, які характеризуються як техногенно-геохімічні системи.

Взаємодія хімічно активних компонентів у таких системах обумовлює суттєве змінення геохімічних параметрів природних середовищ, що, в свою чергу, змінює фізико-хімічні процеси і викликає нові. Усе це певним чином може вплинути на властивості порід у межах масиву після завершення ін'єкційних робіт. Найбільша контрастність техногенного середовища з природою може, ймовірно, виникнути при ін'єкційному хімічному ущільненні ґрунтових масивів, що містять мінералізовані підземні води. З фізико-хімічної точки зору один з елементів подібної техногенно-геохімічної обстановки доцільно розглядати як систему гель-розчин електроліту, де різниця складу та концентрації компонентів у рідкій фазі гелю й у підземних водах обумовлюють їх зустрічну дифузію. На якісному рівні цю систему можна вважати статичною, враховуючи, що залишкові швидкості фільтрації після ін'єкції дуже малі, а у ряді випадків, за даними гідровипробувань, взагалі не фіксуються.

Мета створення штучного ГБ за цим способом досягається тим, що на шляху міграції потоку техногенних ґрунтових вод фронтально до його напрямку за межами джерела забруднення споруджується низка свердловин, у які нагнітається розчин, що формує силікатний

гель. Концентрація та склад розчину визначається часом гелеутворення та пористістю ґрунту.

Важливим моментом є визначення просторового розміщення штучного ГБ у природно-техногенній системі.

При виконанні цього дослідження просторове розміщення бар'єра було здійснено на ділянці руху потоку техногенних ґрунтових вод між свердловинами S_6 та S_7 . На цій ділянці маршруту руху потоку ґрунт є піщано-глинистим, тому свердловини у низці розташовано на відстані 5 м одна від одної, що є достатнім для утворення суцільного адсорбуючого силікатного гелевого бар'єра в товщі ґрунту на шляху міграції забруднювачів. Низка свердловин споруджена фронтально до напрямку потоку $S_6 \rightarrow S_7$ на відстані 30 м від свердловини S_6 . Оскільки глибина залягання потоку на цій ділянці складає близько 14 м, то свердловини цієї низки було пробурено до глибини 20 м. Усього в цій низці пробурено 7 свердловин на відстані 5 м одна від одної (рис. 3).

Як гелеутворюючу речовину використано розчин, який утворює щавлево-алюмосилікатний гель (ЩАС-гель). Розчин виготовлено шляхом змішування силікату Na густиною $1,19 \text{ г/см}^3$ та комплексного затверджувача. Затверджувач – це водний розчин, що містить $50 \text{ г/дм}^3 \text{ Al}_2(\text{SO}_4)_3$ щавлевої кислоти. Час гелеутворення регулюється співвідношенням затверджувача та силікату. При виконанні цих ін'єкційних робіт час гелеутворення складає порядку 1,5 год. Необхідна стійкість ЩАС-гелю у водному середовищі забезпечується високою міцністю зв'язків типу $\text{Si} - \text{O} - \text{Si}$ та $\text{Si} - \text{O} - \text{Al}$, що виникають при гелеутворенні.

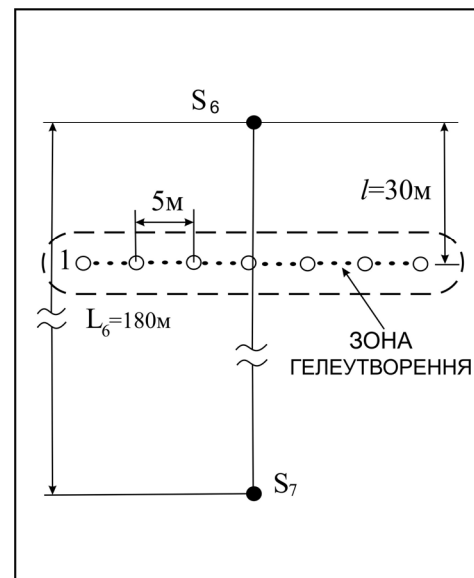


Рис. 3. Створення штучного геохімічного бар'єра на ділянці маршруту руху потоку техногенних ґрунтових вод: 1 – низка свердловин для ін'єкції гелеутворюючого розчину

Загальний хід дослідження такий:

Перед нагнітанням гелеутворюючого розчину в свердловини (перед створенням штучного ГБ) було виконано контрольний аналіз вмісту ВМ у пробах пульпи зі свердловин S_6 та S_7 . Результати наведено у табл. 5;

Проведено ін'єкцію гелеутворюючих речовин у свердловини цієї низки для створення бар'єра;

Протягом місяця з інтервалом 5 діб зі спостережної свердловини S_7 вибиралися проби пульпи та виконувалася аналіз на вміст ВМ.

Результати дослідження наведено у табл. 6 та зображено на рис. 4.

Таблиця 5

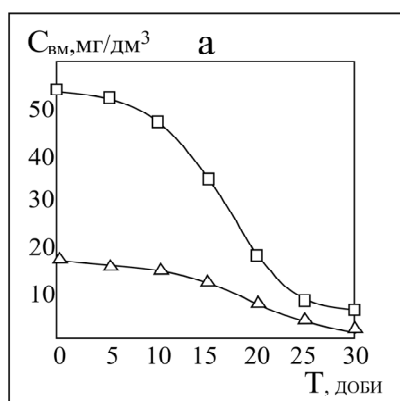
Результати контрольного аналізу вмісту ВМ у пульпі свердловин S₆ та S₇, мг/дм³, (M±m, n=9). Глибина відбору пульпи 14 м

| Елемент | Свердловина | |
|---------|----------------|----------------|
| | S ₆ | S ₇ |
| Cr | 5,85±1,09 | 5,65±1,12 |
| Ni | 5,14±0,94 | 4,96±0,98 |
| Cu | 15,38±2,12 | 15,54±2,05 |
| Zn | 52,65±4,20 | 51,34±4,12 |
| Pb | 12,72±1,92 | 12,08±1,85 |

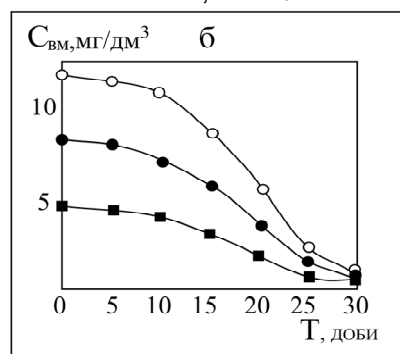
Таблиця 6

Вміст ВМ у пульпі спостережної свердловини S_{N+1} протягом місяця після початку формування штучного ГБ, мг/дм³, (M±m, n=7)

| Елемент | Час відбору проб пульпи, доби | | | | | |
|---------|-------------------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| Cr | 5,6±1,2 | 5,4±1,2 | 5,1±1,0 | 2,65±0,7 | 1,25±0,4 | 0,6±0,08 |
| Ni | 4,96±1,0 | 4,8±0,9 | 4,0±0,8 | 1,3±0,7 | 0,8±0,1 | 0,4±0,05 |
| Cu | 15,2±2,0 | 13,90±1,9 | 11,8±1,6 | 7,1±1,2 | 4,1±1,2 | 1,1±0,3 |
| Zn | 50,2±3,9 | 48,3±3,6 | 33,2±2,9 | 18,5±1,9 | 8,1±1,2 | 6,5±0,9 |
| Pb | 11,9±1,7 | 11,2±1,6 | 7,5±1,1 | 5,0±0,9 | 2,2±0,8 | 1,1±0,6 |



□ – Zn, Δ – Cu



○ – Pb, ● – Cr, ■ – Ni

Рис. 4. Динаміка вмісту важких металів у спостережній свердловині S₇: а – Zn, Cu; б – Pb, Cr, Ni

Таким чином, експериментально доведено, що за місяць функціонування штучного бар'єра на основі щавлево-алюмосилікатного гелю відбувається зниження вмісту ВМ у потоці техногенних ґрунтових вод до рівня, близького до ГДК, і в ряді випадків відповідає стандартам на питну воду, тобто запропонований спосіб створення штучних ГБ дозволяє запобігти надходженню ВМ до ґрунтів та питних підземних вод і, відповідно, покращити екологічну ситуацію у цих районах.

Слід зауважити, що штучні ГБ з часом не залишаються незмінними. Потужні техногенні потоки можуть руйнувати створені бар'єри, утворювати нові та викликати докорінні зміни у системі суміжних ландшафтів. У цьому випадку, з метою захисту довкілля доцільним є посилення існуючих штучних бар'єрів або формування на шляху техногенних потоків ряду нових штучних ГБ.

Висновки. Проаналізовано фактори впливу техногенезу на хімічний склад ґрунтових вод. Розроблено алгоритм виявлення шляхів руху потоків техногенних ґрунтових вод, що дозволяє розв'язати зворотну задачу – виявити джерела забруднення досліджуваних об'єктів. Як індикатори використовувалися ВМ (Cr, Ni, Cu, Zn, Pb), які містяться в більшості техногенних скидів. Результат кушового випробування елементів-індикаторів із низки свердловин дозволив впевнено стверджувати, що розподіл відносного вмісту всіх зареєстрованих ВМ є практично однаковим. Тому як елемент-індикатор використано Zn.

Описаний підхід до виявлення шляхів руху потоків техногенних ґрунтових вод та спостереження за динамікою цих потоків дозволяють у термінових випадках створювати спеціальні редиментаційні бар'єри для блокування розповсюдження ВМ, що надає можливість своєчасно коригувати природоохоронні та водоохоронні заходи. Як гелеутворюючу речовину використано розчин, який утворює щавлево-алюмосилікатний гель (ЩАС-гель). Розчин виготовлено шляхом змішування силікату Na густиною 1,19 г/см³ та комплексного затверджувача. Експериментально доведено, що за місяць функціонування штучного бар'єра на основі щавлево-алюмосилікатного гелю відбувається зниження вмісту ВМ у потоці техногенних ґрунтових вод до рівня, близького до ГДК.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

- Аржанова В. С. Геохимия ландшафтов и техногенез / В. С. Аржанова, П. В. Елпатьевский. – М. : Наука, 1990. – 195 с.
- Блинов С. М. Методологические основы применения геохимических барьеров для охраны окружающей среды / С. М. Блинов, Н. Г. Максимович // География и окружающая среда. – СПб, 2003. – С. 294–304.
- Елпатьевский П. В. Геохимия миграционных потоков в природных и природно-техногенных геосистемах / П. В. Елпатьевский. – М. : Наука, 1993. – 252 с.
- Закономерности формирования режима подземных вод в районе Орджоникидзевского ГОКа [Текст] / В. Е. Анпилов, Т. В. Жданова, Т. Н.

Новоселова, И. К. Решетов // Вестник ХНУ им. В. Н. Каразина, серия "Геология–География–Экология". – Харьков: Изд-во ХНУ им. В. Н. Каразина, 1998. – № 402. – С. 88–90.

5. Методические рекомендации по организации и ведению мониторинга подземных вод (изучения режима химического состава). – М.: ВСЕГИНГЕО, 1985. – 77 с.

6. Мониторинг навколишнього середовища : навч. посібник / О. І. Бондар, І. В. Коринько, В. М. Ткач, О. І. Федоренко. – К., Х.: ДЕІ–ГТІ, 2005. – 126 с.

7. Напрямки удосконалення природоохоронної діяльності в Збройних Силах України : наук.-метод. посібник / [за ред. О. І. Лисенка, С. М. Чумаченка, Ю. І. Ситника]. – К.: ННДЦОТ; В. Б. України, 2006. – 424 с.

8. Полевич О. В. Информационные технологии рентгенофлуоресцентного анализа состава жидкостей / О. В. Полевич, А. В. Шперер, Т. И. Углова // Вестн. нац. техн. ун-та "ХПИ". – Харьков, 2004. – № 5. – С. 158–165.

9. Полевич О. В. Формування гідрогеохімічних бар'єрів у зонах контакту підземних техногенних потоків з поверхневими природними водами / О. В. Полевич, О. В. Шперер, О. В. Чуєнко // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія "Геологія. Географія. Екологія". – 2014. – № 1128. – С. 104–109.

10. Розвиток України в умовах глобалізації та скорочення природно-ресурсного потенціалу / М. М. Коржнев, Ю. Р. Шеляг-Сосонко, М. М. Кирило та ін.; Ін-т телекомунікації і глобал. інформ. простору НАНУ. – К.: ЛОГОС, 2009. – 195 с.

Семиноженко В. П. Промышленные отходы: проблемы и решения / В. П. Семиноженко, Д. В. Сталинский, А. М. Касимов : монография. – Х.: Изд. "Индустрия". – 2011. – 544 с.

11. Удалов І. В. Еколого-геологічне картування та моніторинг геологічного середовища: навчальний посібник для студентів геологічних та екологічних спеціальностей / І. В. Удалов, І. К. Решетов. – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2012. – 152 с.

12. Франчук Г. М. Екологічні проблеми довкілля / Г. М. Франчук, Л. П. Малахов, Р. М. Півторак. – К.: КМУЦА, 2000. – 180 с.

REFERENCES:

1. Arzhanova V. S. Elpat'evskij P. V. (1990). Landscape Geochemistry and technogenesis. Moscow: Nauka. [in Russian].

2. Blinov S. M., Maksimovich N. G. (2003). The methodological basis for the use of geochemical barriers for environmental protection. In Geography and environment. (pp. 294-304). St. Petersburg. [in Russian].

3. Elpat'evskij P. V. (1993). Geochemistry of migration flows in natural and natural-anthropogenic geosystems. Moscow: Nauka. [in Russian].

4. Anpilov V. E., Zhdanov T. V., Novoselov T. N., Reshetov I. K. (1998). Laws of formation of re-benching of groundwater in the area of Ordzhonikidze-sky GOK. Vestnyk V. N. Karazin Kharkiv NU, series Geology, Geography, Environment, 402, 88-90. [in Russian].

5. Guidelines on the organization and management of groundwater monitoring (the study of the chemical composition of the regime) (1985). Moscow: VSEGINTEO. [in Russian].

6. Bondar A. I., Korynko I. V., Weave V. M., Fedorenko A. I. (2005). Environmental Monitoring. Kyiv, Kharkiv: SEI-HTI. [in Ukrainian].

7. Lysenko O. I., Chumachenko S. M., Sytnyk Yu. I. (Eds.). (2006). Directions improving environmental performance in the Armed Forces of Ukraine. Kyiv: NNDSOT; V. B. Ukraine. [in Ukrainian].

8. Polevich O. V., Shperer A. V., Uglova T. I. (2004). Information technology X-ray fluorescence analysis of the composition of liquids. Vestnik. nat. techn. un. "KPI", Kharkov, 5, 158-165. [in Russian].

9. Polyevych O. V., Shperer O. V., Chuyenko O. V. (2014). Hydro forming barriers in the contact zones of man-made underground flows of surface waters in natural. Vestnyk V. N. Karazin Kharkiv NU, series Geology, Geography, Environment, 1128, 104–109. [in Ukrainian].

10. Korzhnev M. M., Shelyah-Sosonko Yu. R., Kurilo M. M. (2009). Chickens and others. Development of Ukraine under globalization and reduction of natural resources. Institute of Telecommunications and Global. inform. space NAS of Ukraine, Kyiv: Logos. [in Ukrainian].

11. Seminozhenko V. P., Stalinskij D. V., Kasimov A. M. (2011). Industrial waste: problems and solutions. Kharkiv: Industrija. [in Russian].

12. Udalov I. V., Reshetov I. K. (2012). Ecological and geological mapping and monitoring of the geological environment: a textbook for students of geological and environmental specialties. Kharkiv: V. N. Karazin KhNU. [in Ukrainian].

13. Franchuk G. M., Malakhov L. P., Pivtorak R. M. (2000). Environmental problems. Kyiv: KIUCA. [in Ukrainian].

Надійшла до редколегії 14.11.16

O. polevich, Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof., Deputy Dean for Research Department of human geography and regional research

E-mail: oleg.polevich@mail.ru, tel.: 095 889-74-77,

A. Chuenko, Head of the interdepartmental academic laboratory research of rocks, minerals and fossils

E-mail: chuenko77@mail.ru, tel.: 095 892-18-32,

I. Udalov, Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof., Head of Department of Hydrogeology

E-mail: igorudalov8@gmail.com, tel.: 050 595-94-42,

Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism,

V.N. Karazin Kharkiv National University, 4, Svobody Sq., Kharkiv, 61022,Ukraine

TECHNOGENIC GROUNDWATER FLOWS, THEIR ROUTING AND CREATING ROUTES ARTIFICIAL GEOCHEMICAL BARRIERS

Anthropogenic groundwater flows are a worldwide problem being the source and distribution of many harmful and toxic elements entering the environment. Anthropogenic groundwater flows are included in hypergenic cycles of migration, significantly changing not only hydrochemical type of groundwater and other natural waters, but also landscapes.

Actual environmental problem is the timely migration paths of pollutants and chemical elements tracking in anthropogenic groundwater flows. This allows us to identify the most contaminated areas and to take appropriate protective measures.

Purpose. Development of algorithm to identify movement paths of anthropogenic groundwater from the feed zone to the discharge zone and the methodology of creating on their way the artificial geochemical barriers for preventing the spread of heavy metals.

Methods. Identification of ways in which anthropogenic groundwater is carried out according to the method spray test with the launch and registration of the indicators in the streams. Indicators checking (determination of the content of heavy metals in groundwater) is carried out by x-ray fluorescence analysis on a multi-channel spectrometer SRM-25.

Findings. The paper presents general principles, development and implementation of an algorithm for identifying motion paths of anthropogenic groundwater from the pollution source to the area of discharge.

The method of creating artificial geochemical barriers on the basis of oxalic-aluminosilicate gels on the way of anthropogenic groundwater flow was developed and tested. It will reduce the concentration of harmful elements in these streams and prevent the spread of these elements from getting into soils and potable groundwater.

Scientific novelty. The developed algorithm to identify movement paths of flows of anthropogenic groundwater allows to solve the inverse problem – identification of pollution sources of the studied objects located in the area of discharge of these streams.

The advanced techniques of x-ray fluorescence analysis, which significantly improve its metrological performance, will be useful for rapid and cheap determination of the elemental composition of the samples of environmental objects and for studies of spatial and temporal distribution of elements almost in real time.

Practical significance. The studies and their results have provided us with new information about the behavior of heavy metals in the paths of anthropogenic ground waters motion and their influence on the ecological condition of neighboring landscapes.

The developed procedures to identify movement paths of anthropogenic flows of groundwater and monitoring the dynamics of these flows allow, in urgent cases, to create a special rudimentary barriers to block the distribution of heavy metals, giving the opportunity to adjust environmental and water protection measures.

Key words: anthropogenic groundwater flows, the algorithm to identify movement paths of groundwater flow, artificial geochemical barriers, oxalic-aluminosilicate gel, x-ray fluorescence analysis.

О. Полевич, канд. техн. наук, доц., зам. декана по научной работе,
каф. социально-экономической географии и регионоведения,
E-mail: oleg.polevich@mail.ru, тел.: 095 889-74-77,
А. Чуенко, зав. межкафедральной учеб. лаб.
по исследованию пород, минералов и ископаемых организмов,
E-mail: shuenko77@mail.ru, тел.: 095 892-18-32,
И. Удалов, канд. техн. наук, доц., зав. каф. гидрогеологии,
E-mail: igorudalov8@gmail.com, тел.: 050 595-94-42,
факультет геологии, географии, рекреации и туризма,
Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина,
пл. Свободы, 4, г. Харьков, 61022, Украина

ПОТОКИ ТЕХНОГЕННЫХ ГРУНТОВЫХ ВОД, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПУТЕЙ ИХ ДВИЖЕНИЯ И ОБРАЗОВАНИЕ НА НИХ ИСКУССТВЕННЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ БАРЬЕРОВ

Потоки техногенных грунтовых вод представляют собой проблему мирового масштаба, поскольку они являются источником и средой распространения для многих вредных и токсичных элементов, поступающих в окружающую среду. Техногенные потоки грунтовых вод включаются в гипергенные циклы миграции, в результате чего существенным образом меняется не только гидрохимический тип грунтовых и других природных вод, но и состояние ландшафтов.

Актуальной природоохранной задачей на настоящее время является своевременное отслеживание в техногенных потоках грунтовых вод путей миграции загрязняющих веществ и химических элементов. Это позволяет выявить наиболее загрязненные участки и заранее принимать соответствующие защитные меры.

Цель. Разработка алгоритма выявления продвижения потоков техногенных грунтовых вод от зоны питания до зоны разгрузки и методологии создания на их пути искусственных геохимических барьеров для блокирования распространения тяжелых металлов.

Методы. Выявление путей движения потоков техногенных грунтовых вод осуществляется по способу кустового испытания с запуском и регистрацией индикаторов в этих потоках. Регистрация индикаторов (определение содержания тяжелых металлов в грунтовых водах) осуществляется методом рентгенофлуоресцентного анализа на многоканальном спектрометре СРМ-25.

Результаты. Изложены общие принципы, разработан и реализован алгоритм выявления путей движения потоков техногенных грунтовых вод от источника загрязнения к области разгрузки. Разработан и апробирован метод создания на пути техногенных потоков грунтовых вод искусственных геохимических барьеров на основе щавелево-алюмосиликатных гелей, что приведет к снижению концентрации вредных элементов в этих потоках и предотвращению распространения этих элементов в почвах и питьевых подземных водах.

Научная новизна. Разработанный алгоритм выявления путей движения потоков техногенных грунтовых вод позволяет решить обратную задачу – выявление источников загрязнения исследуемых объектов, расположенных в области разгрузки этих потоков. Усовершенствованные методики рентгенофлуоресцентного анализа существенно улучшают его метрологические показатели, станут полезными для экспрессного и дешевого определения элементного состава образцов объектов окружающей среды и для исследований пространственно-временного распределения элементов практически в условиях реального времени.

Практическая значимость. Выполненные исследования и их результаты позволили получить новые сведения о поведении тяжелых металлов на путях движения техногенных грунтовых вод и их влияния на экологическое состояние сопредельных ландшафтов. Разработанные новые процедуры выявления путей движения потоков техногенных грунтовых вод и наблюдение за динамикой этих потоков позволяют в срочных случаях создавать специальные редиментационные барьеры для блокирования распространения тяжелых металлов, что дает возможность своевременно корректировать природоохранные и водоохранные мероприятия.

Ключевые слова: техногенные потоки грунтовых вод, алгоритм выявления путей движения потоков грунтовых вод, искусственные геохимические барьеры, щавелево-алюмосиликатный гель, рентгенофлуоресцентный анализ.