

<https://doi.org/10.15407/geotech2020.32.040>
УДК 556.388 /:556.314

Шевченко О.Л., Безродний Д.А.

Шевченко О.Л., д. геол. н., ст. н. сп., професор ННІ «Інститут геології» Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, shevch62@gmail.com, ORCID:0000-0002-5791-5354

Безродний Д.А., канд. геол. н., доцент, ННІ «Інститут геології» Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, e-mail: manific2@ukr.net, ORCID:0000-0001-7463-7133

ШТУЧНЕ ЗАСОЛЕННЯ ВОДОНОСНОГО ГОРИЗОНТУ У ВІДКЛАДАХ ПОЛТАВСЬКОЇ СЕРІЇ В СЕЛІ ТАРАСІВКА КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

У статті розглянуто безпрецедентний випадок навмисного штучного забруднення експлуатаційного водоносного горизонту місцевого значення в с. Тарасівка Києво-Святошинського району Київської області скидами відпрацьованого розсолу. Джерело забруднення питних підземних вод у відкладах новопетрівської світи полтавської серії міоцену встановлено за результатами застосування експрес-методики та логічно-априорного аналізу. Базуючись на гідрохімічних випробуваннях, аналізі результатів відкачувань води із свердловин та розрахунках швидкості міграції солі доведено, що джерелом забруднення може бути лише підприємство з фасування червоної ікри, на якому, згідно нормативної технології промивання сировини, утворюються значні об'єми стоків розсолу. На початку досліджень розглядалось кілька можливих варіантів підвищення мінералізації води, проте всі ознаки вказують лише на одне джерело. Зокрема: 1) джерело забруднення, тобто вище згадуване підприємство, розміщене вище за потоком підземних вод, – в області їх живлення; 2) надлишковим у воді є лише вміст іонів кальцію, натрію та хлору, загальної жорсткості та мінералізації, що відкидає варіант забруднення горизонту внаслідок пощирення від місця колишнього складування агрохімікатів за радянських часів (знаходиться також в області живлення, але далі, на вододільній частині, в 650-700 м від дослідної свердловини); 3) мінералізація води (за рахунок вмісту NaCl) у приватній водозабірній свердловині, що розміщена в 440 м нижче за потоком від джерела забруднення, збільшується при збільшенні дебіту та тривалості відкачування і зменшується після дощів та інфільтрації талих вод, що нагадує інтрузію морських вод до прибережних водозборів; 4) мінералізація зростає водоносною товщею зверху до низу, відповідно питомої ваги та в'язкості розчину; 5) підвищена мінералізація підземних вод даного водоносного горизонту на даній місцині явище не поодиноке, солоні води виявлено у свердловинах та колодязях лише вниз за потоком від вищезначеного підприємства, до того ж вони з'являлись послідовно, спочатку в ближньому колодязі (365 м) – приблизно через 5 років, згодом у свердловині (440 м) – через 6 років, що відповідає розрахованій швидкості конвективного перенесення солі в піщаних відкладах за відповідних градієнтів потоку.

Ключові слова: водоносний горизонт, розсіл, хлорид натрію, міграція, штучне засолення, концентрація, водомісткі породи, мінералізація.

Вступ. Білі кварцові піски новопетрівської світи-міоцену (N_{1np}), сформовані в умовах мілководного моря на площі Дніпровського артезіанського басейну, остаточно звільнились від солоних вод наприкінці нижнього пліоцену. Впродовж більш ніж 3 млн. років вони промивались і наповнювались прісними інфільтраційними водами, які протягом кількох останніх сторіч широко використовувались нашими предками та використовуються й понині. Проте, як відомо, людина, що є чи не єдиною істотою, яка позбавлена колективного відчуття самозбереження, здатна не лише вбивати собі подібних, а й прирікати на хвороби та вимирання власних нащадків. Особливо швидко позбавляє людину сантиментів та всіляких забобонів жага збагачення. Попри здоровий глузд, свідомо і систематично забруднюється та виводиться із експлуатації єдиний доступний водоносний горизонт з питною водою в с. Тарасівка, що під Києвом.

Восени 2019 р. до нас звернувся житель с. Тарасівка, що проживає на вул. Південній, для надання роз'яснень з приводу погіршення якості води у свердловині. Спочатку поступово збільшилась мінералізація підземних питних вод у водозабірній свердловині глибиною 27 м (св. №1). Ця свердловина була пробурена в 2011 р. і весь час давала питну воду доброї якості. Проте, у березні 2017 р., після того як почали відчуватись зміни якості води на смак, у відібраній пробі було зафіксовано мінералізацію на рівні **0,7 г/дм³** (при звичайній 0,4-0,5), переважно за рахунок іонів хлору – 0,3 г/дм³ та кальцію 0,14 г/дм³; при загальній жорсткості 8,9 мг-екв/дм³. Не припускаючи можливості суцільного забруднення водоносного горизонту, водокористувач пробував ще одну свердловину (№2) на той самий горизонт, але дещо глибше – до 30 м. Проте, змін на краще не сталося: в червні 2018 р. мінералізація води у новій свердловині складала вже

3,38 г/дм³ (хлоридів 1,74 г/дм³, натрію та калію близько 1,0 г/дм³). Наступне випробування, проведене водокористувачем 26.07.2018 р., дало такі результати (за аналітичними дослідженнями в акредитованій випробувальній лабораторії «Компанії Субос»): мінералізація води у св. №1, так само як і у св. №2 - **2,7** г/дм³, вміст Cl⁻ – 1,36 - **1,375** г/дм³; Na+K – **0,72** (св.№1) та 0,47 г/дм³ (св.№2); Ca²⁺ – 0,28-0,3 г/дм³, загальна жорсткість зросла до **17,15** (св.№2) і **18,6** мг-екв/дм³ (св.№1).

Отже, метою даних досліджень постало визначення джерела та динаміки розвитку забруднення хлоридом натрію питних підземних вод водоносного горизонту у відкладах полтавської серії олігоцен-міоцену в с. Тарасівка.

На початку досліджень ми припускали кілька можливих варіантів забруднення підземних вод: 1) надходження з першого від поверхні незахищеного водоносного горизонту або від власних очисних споруд (септик в ґрунті); 2) забруднення від місця складування хімікатів сільськогосподарського призначення; 3) перетікання знизу через водотрив із водоносного горизонту, який може мати більший напір та, теоретично, більшу мінералізацію; 4) надходження від підприємства, що займається фасуванням червоної ікри. Оскільки істотного сольового забруднення вод на сусідній ділянці (свердловина №3) на той час не було зафіксовано, якщо не врахувати дещо підвищений вміст іонів хлору, то варіант просування забруднення зверху – із слабо-напірного водоносного горизонту в озерно-флювіогляціальних відкладах вважався цілком припустимим, але лише за умови, якщо затрубний простір свердловини №3 затампований краще, ніж свердловин №№ 1 і 2.

Об'єкт досліджень. Водоносний горизонт у відкладах межигірської, берекської та новопетрівської світ олігоцен-міоцену (P₃mž+br+N₁np) поширений на підвищених ділянках вододілів та на їх схилах у правобережній частині Київської області. Відсутній він лише в долинах річок та в глибоко врізаних балках. Глибина залягання горизонту на найвищих ділянках вододілів сягає 50 м, а потужність товщі водомістких порід – від кількох метрів на схилах долин до 30-35 м на вододілах [1].

Водомісткі породи представлені переважно дрібнозернистими білими пісками (новопетрівська світа) та пісками дрібно- і тонкозернистими кварцовими зеленуватими з глауконітом (берекська світа). Перекритий горизонт на вододільних ділянках товщею строкатих і червоно-бурих глин неогену і підсти-

лається глинами, мергелями, алевритами київської та обухівської світ еоцену [1,2] (рис. 1).

Водоносний горизонт має напір до 20 м і втрачає його поблизу районів розвантаження, на схилах долин. Водомісткі породи характеризуються слабкою водовіддачею. Дебіти свердловин у більшості випадків не перевищують 1-2 дм³/с при питомих дебітах 0,1-0,8 дм³/с.

Живлення відбувається у місцях розмиву товщі строкатих і бурих глин за рахунок інфільтрації атмосферних опадів; дренується горизонт долинами річок і балок. Режим горизонту характеризується порівняно сталим рівнем. Річна амплітуда його коливань не перевищує 0,5 м і обумовлюється кількістю опадів.

За хімічним складом води гідрокарбонатні кальцієві і рідше – гідрокарбонатно-сульфатні кальцієві з мінералізацією 0,3-0,5 г/дм³. У м. Києві при неглибокому заляганні водоносного горизонту спостерігається забруднення його вод і строкатість їх хімічного складу.

Горизонт експлуатується дрібними водоспоживачами за допомогою поодиноких свердловин і колодязів.

У нашому випадку свердловини знаходяться на схилі річкової долини, поблизу балки, де суглинки у верхній частині розмиті, тому розріз починається з неоплейстоценових яружних дрібнозернистих жовтих пісків (за аналогією з рис. 1 – це лівий борт річки, вказано стрілкою), а глибина залягання покрівлі водоносного горизонту у відкладах полтавської серії порівняно невелика – 22 м.

Розкрита новою (2017 р.) та більш глибокою (30 м) дослідно-експлуатаційною свердловиною потужність водомістких піщаних відкладів полтавської серії складає 8 м. Повна потужність водоносного горизонту на даній ділянці може доходити до 15 м, проте нижня частина горизонту виповнена тонкозернистими глинистими пісками з меншою водовіддачею та коефіцієнтом фільтрації, тобто ефективна потужність близька до 8,0 м. На південно-західній околиці с. Тарасівка, при абсолютних відмітках 175 м БС, підшва горизонту залягає на глибині саме 30,0 м, тобто 145,0 м БС, але горизонт має загальну потужність близько 24 м. Діаметр робочої колони основної (нової) свердловини 160 мм, діаметр буріння 191 мм. Дебіт свердловини складає 3 м³/годину, питомий дебіт – 0,375 м²/годину (0,1 л/с).

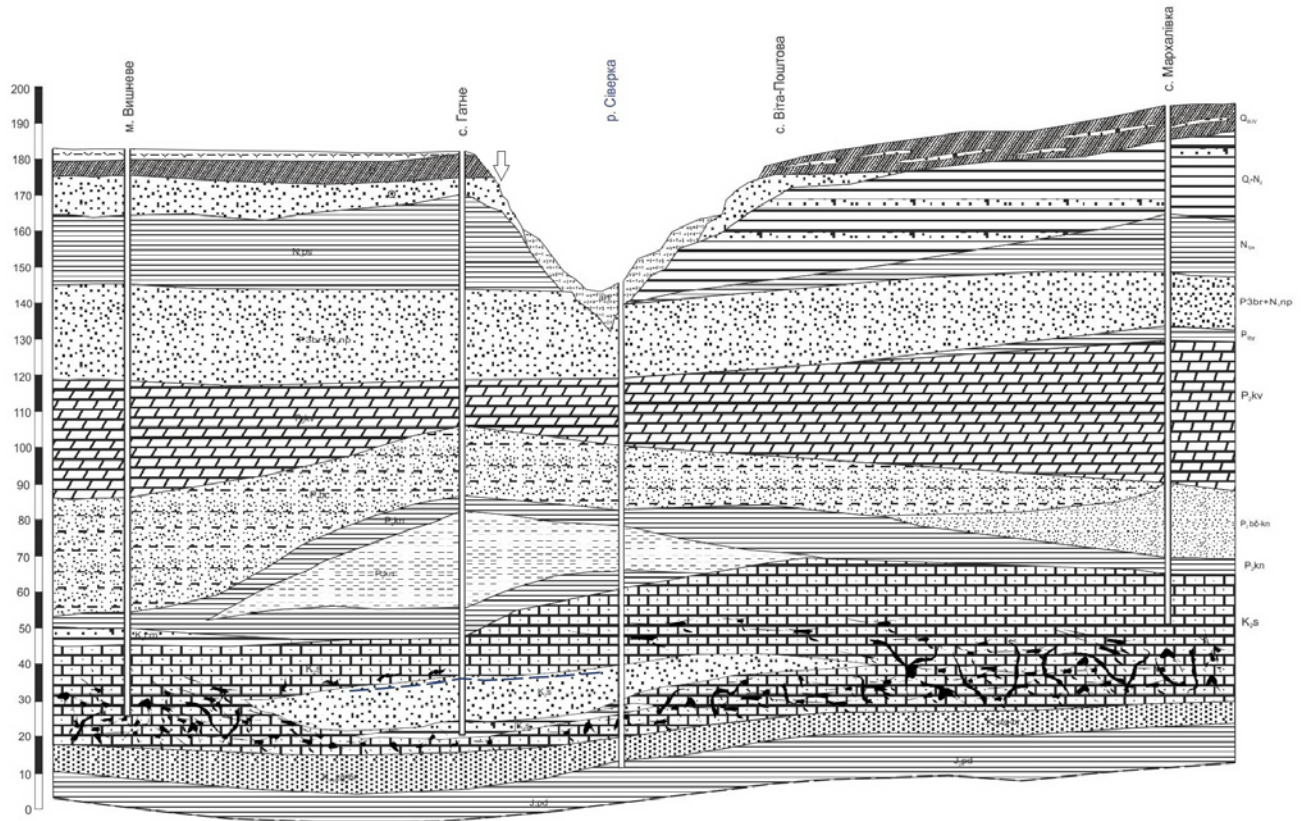


Рис. 1. Геологічний розріз по лінії I-I [3], характерний для с. Тарасівка (див. рис. 2).

Fig. 1. Geological section along the line I-I [3], which is typical for Tarasivka village (see Fig. 2).

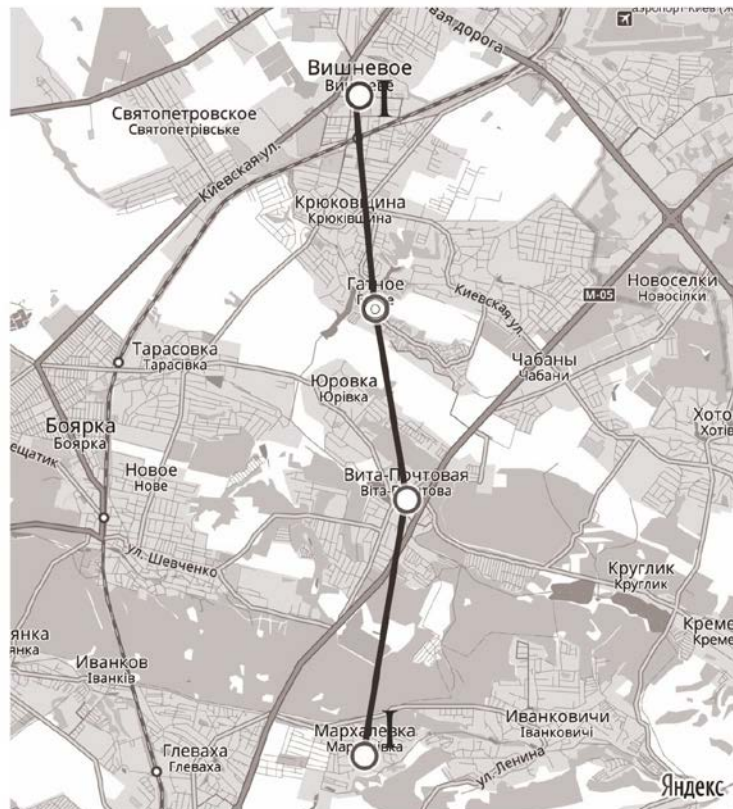


Рис. 2. Мапа району досліджень з лінією геологічного розрізу I-I.

Fig. 2. Map of the research area with the line of geological section I-I.

Методика робіт. Для подібних випадків алгоритм дій відповідає спрощеній схемі екологічного аудиту і полягає у підборі методичних засобів та індикаторів, які однозначно виявляють лише один із чинників на основі наших знань щодо його особливостей. Таким чином, ми послідовно тестуємо об'єкт за ознаками, які можуть належати лише одному із джерел (чинників), і якщо такі ознаки відсутні, поступово відбраковуємо вірогідні варіанти, щоб залишився лише один.

В першу чергу, нам треба визначити ступінь захищеності водоносного горизонту від поверхневого забруднення; далі встановити фоновий (природний) склад води горизонту, основні хімічні складові забруднюючих стоків від найбільш вірогідних джерел; гідродинамічну обстановку, яка значною мірою може визначатись рельєфом та орогідрографією. Для цього вивчається характер живлення підземних вод, встановлюється область розвантаження, визначаються градієнт і напрямок підземного потоку, швидкість фільтрації. Також слід вивчити поведінку забруднювача, а саме: реакцію його концентрації (або мінералізації) на водовідбір та поповнення горизонту в періоди випадіння значної кількості атмосферних опадів. Корисними можуть бути також відомості про характер розподілу політанта товщею водоносного горизонту. Для цього треба мати свердловину із різною глибиною водоприймальної частини (фільтру).

Отже, під час досліджень були використані наступні методичні прийоми: аналітичні дослідження хімічного складу води; обстеження території з визначенням природних ухилів, областей живлення та розвантаження підземних вод, відстаней до вірогідних джерел забруднення; пробні відкачування із свердловин та спостереження за змінами хімічних показників; розрахунки фільтраційних та міграційних параметрів; логічно-апріорний аналіз.

Лабораторні дослідження (за кошти водокористувача) проводились в акредитованій випробувальній лабораторії ТОВ «Компанія Субос» на каліброваних приладах: спектрофотометрах V-1100D, ULAB 108 UV, йонімірі Hanna, аналізаторі вольтамперометричному ТА-4 та ін.

Викладення основного матеріалу. Для визначення можливості надходження соляного розчину з поверхні необхідно розглянути геологічний розріз свердловини. Розріз повинен надаватись буровою організацією разом із паспортом свердловини. Зауважимо, що після здачі свердловини в експлуатацію копія паспорта свердловини із вказаним дебітом, що відповідає середньодобовій водопотребі користувача, повинна передаватись до регіональної гідрогеологічної служби, якою в Київській області є Київська гідрогеологічна експедиція ДП «Українсь-

ка геологічна компанія». Якщо документи на свердловину не будуть оформлені належним чином, то досягти успіху в судових справах, у разі стороннього забруднення водоносного горизонту, буде проблематично.

1. *За умовами геологічної захищеності водоносний горизонт у відкладах полтавської серії можна вважати добре захищеним від проникнення забруднення з поверхні.* У верхній частині розрізу хоча і лежать піски потужністю 7,0 м, перекриті шаром органогенного ґрунту на супіщано-суглинистій основі, проте нижче знаходиться шар жовтої верхньочетвертинної глини товщиною 3,0 м, за ним – також триметровий водонасичений шар озерно-флювіогляціальних пісків середнього неоплейстоцену, а вже під ним – щільні строкаті глини міоцену потужністю близько 9,0 м, чого цілком достатньо для унеможливлення швидкого проникнення забруднюючих речовин з першого від поверхні захищеного горизонту ґрунтових вод. Наближено час проникнення забруднення (t_o) до основного водоносного горизонту, при перетіканні з першого від поверхні горизонту, можна визначити за формулою [4]:

$$t_o = \frac{m_o^2 \cdot n_o}{K_o \cdot \Delta H} \quad (1)$$

де m_o – потужність водотривких порід в покрівлі експлуатаційного горизонту – 9 м; n_o – активна пористість глин в покрівлі – 0,07; k_o – коефіцієнт фільтрації глинистих відкладів 9×10^{-5} м/добу (розрахунковий коефіцієнт проникності $1,0 \times 10^{-5}$ 1/добу вкладається у визначені межі [1]); ΔH – різниця сталих рівнів води експлуатаційного (12 м) та вище залягаючого, першого від поверхні, водоносного горизонту у четвертинних відкладах (8,0 м). Тоді:

$$t_o = \frac{9^2 \cdot 0,07}{9 \cdot 10^{-5} \cdot 4} = 15750 \text{ діб або близько 43 років}$$

Навіть якщо приймати емпірично визначену (методом тритієвих вимірювань) В.А. Поляковим та В.Т. Дубінчуком швидкість інфільтрації крізь глини рівною 0,6 мм/добу, то через товщу потужністю 9,0 м розчин пройде через 15000 діб (41 рік). Отже, отримуємо доволі значний термін, що свідчить про добрі умови захищеності експлуатаційного горизонту.

Проте, на жаль, свердловини №№ 1 і 2 були пробурені з технічними порушеннями, – однією колоною, без ізоляції верхніх водоносних шарів шляхом встановлення додаткової обсадної колони більшого

діаметру з її позатрубним цементуванням. У зв'язку із цим, за наявності джерела забруднення на поверхні або при забрудненні першого, незахищеного з поверхні водоносного горизонту, при поганому змиканні глин навколо робочої колони, забруднення затрубним простором (1,5 см між колоною та стінкою свердловини) може досить швидко надійти в експлуатаційний водоносний горизонт [5]. У цьому випадку повинне спостерігатись зменшення концентрації солі водоносною товщею експлуатаційного горизонту зверху вниз. В нашому ж випадку все відбувається навпаки: більш солоні вода зосереджена в нижній частині водоносного горизонту та надходить до захватної частини свердловини за тривалий час відкачування. Це означає: або розсіл подається безпосередньо у нижню частину горизонту, або проходить тривалий час, за який відбувається диференціація розчинів за питомою вагою. В останньому випадку джерело забруднення має знахо-

дитись на значній відстані вище за потоком, щоб за час надходження відбулось опускання більш важкого розсолу в нижню частину та витіснення солоної води з верхньої частини прісними водами, що перетікають з верхнього горизонту. Суперечить сценарію поверхневого забруднення також той факт, що після тривалих дощів відбувається помітне зменшення мінералізації води в експлуатаційному горизонті, що лише підтверджує висновок про технічну недосконалість свердловини.

Отже, *першу версію* щодо *поверхневого забруднення*, в тому числі надходження від власної очисної споруди (відстійника та септика), можна відкинути.

2. Проаналізуємо хімічний склад підземних вод та його зміни в часі і на площі (табл. 1).

У таблиці наведено результати хімічних аналізів по двох свердловинах, які розміщені на відстані 9,5 м одна від одної (свердловина №3 нижче за потоком, у сусіднього водокористувача).

Таблиця 1. Вибіркові показники хімічного складу води із свердловин № 2 і № 3 від 13.09.2019р., мг/дм³
Table 1. Sample indicators of the chemical composition of water from wells #2 and #3 of 13.09.2019, mg/dm³

| № | Найменування показника | Гранично допустимі норми ДСан Пін 2.2.4-171-10 | Методика визначення | Результат дослідження | | |
|----|---|--|---------------------|--|---------------------------------------|-------------------------|
| | | | | Св. №2 (30 м) до відкачки – з верхньої частини | Св. №2 (30 м) після 12 годин відкачки | Св. №3 (глибина 24,5 м) |
| 1 | Амоній, NH ₄ ⁻ | ≤ 0,5 | ГОСТ 4192 | 0,1 | < 0,05 | 0,14 |
| 2 | Нітрити, NO ₂ ⁻ | ≤ 0,5 | ГОСТ 4192 | <0,003 | < 0,003 | 0,042 |
| 3 | Нітрати, NO ₃ ⁻ | ≤ 50,0 | ГОСТ 18826 | <0,44 | 2,8 | < 0,44 |
| 4 | Жорсткість загальна, мг-екв/дм ³ | ≤ 7,0 | ГОСТ 4151 | 3,8 | 12,8 | 5,0 |
| 5 | Хлориди, Cl ⁻ | ≤ 250,0 | ГОСТ 4245 | 47,0 | 1480,0 | 155,0 |
| 6 | Сульфати, SO ₄ ²⁻ | ≤ 250,0 | ГОСТ 4389 | 4,94 | 10,24 | 4,6 |
| 8 | Сухий залишок | ≤ 1000,0 | ГОСТ 18164 | 273,0 | 2951,0 | 436,0 |
| 7 | Залізо заг. | ≤ 0,2 | ГОСТ 4011 | 0,23 | 0,084 | 0,534 |
| 9 | Кальцій, Ca ²⁺ | ≤ 130,0 | ДСТУ 6058 | 56,11 | 200,4 | 76,15 |
| 10 | Магній, Mg ²⁺ | ≤ 80,0 | ГОСТ 23268.5 | 12,16 | 34,05 | 14,6 |
| 11 | Калій+натрій, K ⁺ +Na ⁺ | ≤ 200,0 | ГОСТ 23268.6-7 | 33,75 | 94,86 | 74,6 |

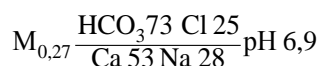
Спочатку було відібрано пробу без запуску насосу із верхнього шару води у свердловині № 2, яка до цього не експлуатувалась близько двох тижнів. У цій пробі не виявлено перевищення концентрацій за всіма компонентами (якщо не зважати на незначне перевищення за вмістом загального заліза) і вода була низькомінералізованою. Це також свідчить на користь того, що вода у верхньому (четвертинному) горизонті прісна і не забруднена. Друга проба відібрана після 12-годинної відкачки з тієї ж свердловини. Як бачимо, склад води істотно змінився за всіма показниками, окрім нітритів. Отже, оскільки фільтр встановлено на всю розкрити потужність горизонту (згідно паспорту свердловини), вода має

зможу надходити і з нижньої частини. Третю пробу відібрано із свердловини на сусідній ділянці після її тривалої роботи для забезпечення поливу зелених насаджень. Порівнюючи склад води у двох різних свердловинах на один і той самий горизонт після відкачувань (проби 2 і 3), слід відзначити істотну різницю за всіма показниками. Більше схожості між першою і третьою пробами, що відібрані з верхньої частини водоносної товщі, незалежно від динаміки водокористування. Тобто першочергову роль, очевидно, відіграє глибина відбору проб води. Більший вміст амонію у воді свердловини №3 може свідчити про кращу ізоляцію позатрубного простору і меншу залежність від кисневмісних інфільтраційних вод.

Вміст заліза обумовлюється його вилуговуванням із червоно-бурих та строкатих глин міоцену, які знаходяться в покрівлі горизонту. Це добре підтверджується результатами аналізів: концентрація заліза більша у воді свердловини №3, яка розкриває лише два верхніх метри водомістких порід, тобто відкачує воду з верхньої частини полтавського горизонту за вірогідної відсутності надходження кисневмісних вод. У воді, яка довго не оновлювалась у стволі свердловини (перша проба із свердловини №2), залізо переходить із закисної форми в окисну, тобто на вищий ступінь окиснення, і значна його частка випадає з розчину у вигляді гідроксиду.

Виникають питання щодо співвідношення концентрацій іонів натрію та кальцію у засоленій воді св. №2, оскільки технологічний розчин для промивки ікри та риби повинен утворюватись переважно на основі кам'яної солі. Проте, по-перше, як відомо, розчинність хлориду кальцію істотно більша, ніж хлориду натрію (межа насиченості CaCl_2 – 731,9 г/дм³ а NaCl – 358,6 г/дм³ за температури 10-12 °С), тобто по мірі міграції від джерела забруднення співвідношення цих солей змінюється на користь CaCl_2 , у тому числі й завдяки переважанню Ca у природному складі води; а по-друге, із співставлення сум концентрацій катіонів і аніонів, виражених у мг-екв/дм³, випливає, що сума аніонів майже на 29 мг-екв/дм³ більша за суму катіонів (лише у цій, другій пробі). Нестача катіонів скоріш за все компенсується іонами натрію, визначення яких титруванням (результат представляється у вигляді суми $\text{Na} + \text{K}$) не забезпечує необхідної точності та має певні методичні обмеження. Про це свідчать і результати попередніх аналізів за 2018 р., за якими значна розбіжність у пробах, відібраних із свердловин №№1 і 2, спостерігалась лише за натрієм і калієм.

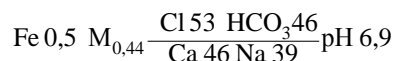
Для інших двох проб концентрація гідрокарбонат іонів, розрахована за балансом сум катіонів і аніонів, складає 234 (св. №2, перша проба) та 231 (св. №3) мг/дм³, що характерно для складу вод даного горизонту. Отже, цей аніон не бере участі у метаморфізації води і його концентрація при засоленні змінюється несуттєво. Виходячи з цих передумов, опробувані води можна охарактеризувати формулою Курлова (концентрації представлені в мг-екв %/дм³) та визначити їх гідрохімічний тип. Тип води за першою пробію, що характеризує вплив процесів окиснення на фоновий склад, постає в такому вигляді:



Таким чином, вода із свердловини №2 у стані спокою є гідрокарбонатно-хлоридною кальцієво-

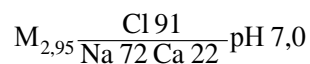
натрієвою (переважаючи іони на першому місці), що свідчить про дещо більший, ніж за природного стану, вміст хлору та натрію. Відомо, що при забрудненні солями хлору в першу чергу збільшується вміст у воді іонів хлору, як найбільш консервативного мігранту, що не сорбується.

Третя проба (св. №3) описується наступною формулою:



Як бачимо, тип води змінився на хлоридно-гідрокарбонатний кальцієво-натрієвий, що характеризує процес підтягування розсолів знизу і змішування їх під час відкачування із прісними водами верхньої частини горизонту. Такий процес іноді називають «турбулентною дифузєю», хоча, на наш погляд, це некоректно, оскільки дифузія найкраще проявляється в нерухомих водних системах. Отже, для свердловини №3 прогноз на майбутнє теж невтішний: за умов зменшення інфільтраційного живлення горизонту, при зменшенні кількості опадів, метаморфізація складу води буде посилюватись. Окрім цього, за одночасної роботи із свердловиною №2 відібрати з неї необхідні об'єми води буде складно.

Якщо виправити дисбаланс катіонів та аніонів по другій пробі св. №2 в бік збільшення вмісту натрію, то формула Курлова для мінералізованої води виглядатиме наступним чином:



Отже, вода в результаті забруднення розчином кухонної солі стає (більш гіпотетично) хлоридною натрієво-кальцієвою, що цілком логічно.

Азотвміщуючі сполуки є показовим індикатором органічного та агрохімічного забруднення. У нашому випадку (табл. 1) їх вміст не перевищує фонового. Зважаючи на те, що у верхній частині водоносного горизонту надлишків забруднюючих речовин немає, а вміст нітратів збільшується за рахунок підтягування води знизу при тривалій роботі насосу, можна дійти висновку, що проникнення забруднюючих речовин згори не відбувається і *версію про можливість забруднення від колишніх складів агрохімікатів (знаходились в 650-700 м вище за поточком від св. №2) можна відкинути.*

3. Теоретичне припущення про надходження мінералізованих вод знизу, через водотрив, – з водоносного горизонту у відкладах бучацької та канівської серій палеогеону також безпідставне (цей варіант може діяти в південній частині Причорно-

морського артезіанського басейну, Миколаївська область [2]), оскільки мінералізація цих вод не перевищує $0,6 \text{ г/дм}^3$, а головною їх ознакою є підвищений (значно вище ГДК) вміст іонів заліза.

4. Отже, відкинувши три менш вірогідні версії забруднення, зупинимось на обґрунтуванні варіанту засолення води від підприємства, що консервує червону ікру. Перший аргумент на користь цього джерела забруднення – його розташування вище за потоком підземних вод на «доступній» відстані у 440 м. Враховуючи це, найбільш вагомими аргументами можна отримати вираховувавши швидкість просування фронту розсолу і порівнявши її із відомими фактичними даними для близьких умов.

Під час рекогносцирувальних обстежень місцевості виявлено, що вище за потоком солоня вода є також у приватному колодязі на тій самій вулиці. Цей колодязь має глибину близько 23 м і в ньому солонувата вода з'явилась на рік раніше. Враховуючи, що відстань до колодязя складає близько 63 м, можна попередньо вирахувати швидкість просування фронту солоних вод. Вона складатиме близько 65 м/рік , що цілком можливо.

Якщо аналізувати за часовими інтервалами, то слід відштовхуватись від терміну початку роботи підприємства – 2011 р. Вперше на ознаки засолення води звернули увагу в березні 2017 р., тобто пройшло 6 років. Враховуючи, що відстань вгору за потоком від свердловини №2 до вірогідного місця розміщення нагнітаючої свердловини на підприємстві складає 430-470 м, можна вирахувати, що швидкість конвективного перенесення солей складе близько 70 м/рік , що узгоджується із попереднім визначенням.

Більш точний результат можна отримати, вираховувавши фільтраційні параметри водовмісних порід та параметри міграції солей. Солі, як відомо, мігрують за механізмами дифузії та конвективного перенесення. Маючи значення швидкості дифузії та конвективного перенесення, визначають безрозмірне число Пекле, яке дає уяву про те, який механізм міграції переважає. Для визначення швидкості конвективного перенесення спочатку визначають швидкість фільтрації. Коефіцієнт фільтрації піщаних відкладів приймаємо за фондовими матеріалами та результатами дослідно-фільтраційних робіт на даний водоносний горизонт: він може складати близько $3,0\text{-}4,0 \text{ м/добу}$ [1,6]. Тоді водопровідність дорівнюватиме близько $30 \text{ м}^2/\text{добу}$, що відповідає мінімальним значенням, характерним для цього горизонту [1] (слід враховувати, що свердловина можливо розкриває не повну його потужність). Пружну водовіддачу можна прийняти на рівні $0,005$ [6], тоді коефіцієнт пр'єзопровідності дорівнюватиме $6,4 \times 10^3 \text{ м}^2/\text{добу}$.

Абсолютна відмітка поверхні землі в точці розташування свердловини №2 – $149,80 \text{ м БС}$. Відмітка поверхні в місці розташування колодязя вище за потоком – $151,19 \text{ м}$. Приймаючи значення сталого рівня у дослідній свердловині, згідно останніх замірів, $12,6 \text{ м}$ від поверхні, що відповідає абсолютній відмітці $137,2 \text{ м} (H_2)$, та в колодязі (при рівні $13,42 \text{ м}$) – $137,77 \text{ м} (H_1)$, розрахуємо градієнт фільтраційного потоку:

$$I = \frac{H_1 - H_2}{L} = \frac{137,77 - 137,2}{63} = 0,009 \quad (2)$$

Подібні градієнти потоків характерні для схилів річкових долин. Звідси швидкість фільтрації складе близько $0,034 \text{ м/добу}$ або $12,55 \text{ м/рік}$. Реальна або, як її називають, дійсна швидкість перенесення (U) консервативного мігранту, до якого відносяться іони хлору, пов'язана із швидкістю фільтрації v наступним співвідношенням [7]:

$$U = \frac{v}{n_a} \quad (3)$$

де n_a – активна пористість, що визначає частку пор, які сполучаються між собою. Для пісків полтавської серії вона може складати близько $0,2$. Поправкою на сорбцію, що враховується через ефективну пористість, для консервативних мігрантів можна знехтувати. Тоді швидкість конвективного перенесення іонів хлору латеральним потоком за формулою (3) складатиме близько 63 м/рік , що цілком вірогідно і добре узгоджується з розрахунками, що наведені вище. Останнє значення не враховує прискорення масоперенесення внаслідок тимчасової роботи приватних водозабірних свердловин, тому справжня швидкість повинна бути більшою.

При визначенні солеперенесення у водоносних горизонтах, де воно поширюється на великі відстані, можна знехтувати молекулярною дифузією («розмазуванням» фронту) і розглядати схему поршневого витіснення, за якої забруднена і чиста вода умовно не змішуються в процесі витіснення чистої води. За цією схемою, вірогідно, і відбувається витіснення прісної води з нижньої частини водоносного горизонту. Згідно цієї схеми, всі частинки розчину переміщуються в потоці підземних вод, тобто в усіх порах породи, з однаковою швидкістю, яка визначається залежністю (3).

Для того, щоб визначити просторове положення концентраційного фронту поршневого витіснення на момент часу t достатньо побудувати гідродинамічну

сітку потоку і, розрахувавши швидкість фільтрації v вздовж характерних ліній току, знайти довжини пробігу консервативного мігранта (в даному випадку Cl⁻) згідно виразу [8]:

$$l_o = \left(\frac{1}{n_a} \right) \int_0^t v dt \quad (4)$$

Використовуючи вже розраховану швидкість фільтрації v вздовж лінії току до свердловини № 2 та рівняння (3) можна визначити час (t_x), за який фронт забруднення досягне певної відстані (x_t), або визначити відстань, на яку пошириться потік розсолу від джерела забруднення за певний час:

$$t_x = \frac{x_t \cdot n_a}{v} \quad (5)$$

$$x_t = \frac{v \cdot t_x}{n_a} \quad (6)$$

Якщо, як ми вже з'ясували, експлуатаційний водоносний горизонт може забруднюватись лише штучно, причому лише шляхом прямого закачування розсолу в пласт (можливо з використанням гідророзриву під тиском 18-20 атм, що забезпечується потужним насосом), то визначена нами швидкість описує квазіусталений вісесиметричний (радіальний) рух мігранта у фільтраційному потоці за умовно постійних витрат розсолу (Q), що нагнітається у свердловину. Дебіт такої свердловини легко визначити з рівняння:

$$Q = v \cdot 2\pi \cdot m r_x, \quad (7)$$

де m – потужність водоносного горизонту, r_x – радіальна координата (відстань від нагнітаючої свердловини). Підставивши фактичні та розраховані нами значення параметрів ($v = 0,034$ м/добу) отримуємо дебіт близько 750 м³/добу, що цілком можливо.

Визначення початкової мінералізації розсолу в даному випадку не уявляється можливим взнаки нерівномірного радіального поширення потоку, відсутності точних даних про повну потужність водоносного горизонту, ступінь його однорідності, тобто про об'ємні характеристики фільтраційного потоку хоча б вздовж однієї стрічки току, а також про значення показників хімічного складу підземних вод експлуатаційного горизонту до початку його забруднення.

Згідно технології приготування товарної продукції, ікру, яка надходить на підприємство у замороженому вигляді (її солоність має складати 1,5 – 5 %) [9], промивають у розсолі, а потім консервують. При цьому солоність ікри першого та другого сорту, відповідно, має складати 4 – 6 % та 4 – 7 % [10, 11]. Це вимагає застосування проточної солоної води з мінералізацією 15-50 г/дм³.

Ще більших об'ємів розсолу вимагає засолення риби. Остання потребує триразового промивання, тому на 1 кг риби витрачається приблизно 20 – 30 л розсолу, або на 1 т риби – до 30 тон розсолу. При цьому в залежності від ступеня посолу (малосольна, слабосольна, середньосольна, сильносольна) концентрація солі в рибі згідно ГОСТ [12, 13] змінюється від 4 до 13 %. Для досягнення таких концентрацій необхідна проточна солоня вода з мінералізацією приблизно 85 – 100 г/дм³. Відпрацьовані високомінералізовані стоки можуть бути скинуті у каналізаційну мережу або відкриті водотоки лише після повної попередньої демінералізації, на що треба витратити значні кошти, або після часткової демінералізації (до 4-10 г/дм³) – напряду в каналізацію, але за значно вищим тарифом, ніж при скиді прісних вод. У даному випадку мотив виявленого екологічного злочину цілком очевидний: для попереднього знесолення або демінералізації стоків необхідно побудувати складні установки зворотного осмосу, у зв'язку із чим собівартість товарної продукції зросте і остання може стати неконкурентоспроможною. Звичайно простіше та, головне, дешевше закачувати розсіл в існуючу свердловину (свердловини).

Звісно, що випадки закачування солоних вод у підземні водоносні горизонти непоодинокі. Поперше, скидання можна виконувати лише в горизонти, які містять воду ще більшої мінералізації. Існують також і відповідні технології, проте вони застосовуються лише після всебічного наукового обґрунтування та експертизи, проходять цілий ряд дозволів, у т.ч. від Держгірпромнагляду, та затвердження в Державній комісії по запасах корисних копалин України та Державній службі геології та надр України. Наприклад, після отриманих протягом 4 років (!) відповідних дозволів, на заводі соків «Сандора» в Миколаївській області до 2015 р. таким чином закачували солону воду у відклади палеогену на глибині 250 м. Проте, в нашому випадку, – в межах західного крила Дніпровського артезіанського басейну, на правобережній його частині, такий спосіб утилізації відпрацьованого розсолу неможливий, оскільки навіть у підшві осадового чохла, на глибинах 140-270 м, та у верхній частині кристалічного фундаменту поширені прісні або слабосолонуваті води.

Червону ікру, згідно з інформацією на баночках, фасують ще в кількох селах на Київщині: Пінчуках, Салівонках, Калинівці [14]. Також у наших супермаркетах зустрічаються баночки ікри з Харкова або Куп'янська Харківської області. Є вірогідно й інші підприємства харчової галузі, що використовують розсоли в технологічному процесі. Виходячи з виявлених нами порушень екологічного законодавства та Водного кодексу в с. Тарасівці, вимагають невідкладного і ретельного екологічного аудиту та ОВД (оцінки впливу на довкілля) й інші подібні об'єкти. На фоні поступового зменшення ресурсів природних питних вод в умовах глобального потепління [15] виведення з користування доступних місцевих джерел питного водозабезпечення є неприпустимим.

Висновки

Встановлено, що природна геологічна та гідродинамічна захищеність експлуатаційного водоносного горизонту у відкладах полтавської серії міоценолігоцену (глибина від 22 до 32 м) в с. Тарасівка достатньо висока (час міграції забруднювача через водотрив у покривлі не менше 40 років). Отже, збільшення до 3,0 г/дм³ (на 2018-2019 рр.) мінералізації раніше прісних підземних вод у свердловинах водокористувачів по вул. Південній і виведення цих вод з категорії питних відбувається в результаті прямого скиду розсолу у водоносний горизонт. На даній території водоносний горизонт дре-

нується річкою Сіверка, що забезпечує значні градієнти та швидкість фільтрації підземного потоку. Крім того, швидкість міграції солей зростає внаслідок експлуатації горизонту. Розсіл, по мірі розповсюдження вниз за потоком, маючи більшу питому вагу, опускається в нижню частину горизонту (або ж відразу закачується в нижню частину). Про штучне забруднення питних вод даного горизонту підприємством, що займається консервуванням червоної ікри (а, можливо, й засоленням риби) свідчить ряд ознак: 1) джерело забруднення розміщене вище за потоком підземних вод – в області їх живлення; 2) мінералізація підземних вод зростає по мірі збільшення водовідбору та зменшення інфільтраційного живлення за відсутності атмосферних опадів; 3) підвищення мінералізації відбувається переважно за рахунок хлоридів кальцію та натрію, характерних для технологічних розсолів підприємств подібної спеціалізації; 4) час надходження фронту розсолу до експлуатаційних свердловин та колодязів нижче за потоком добре кореспондується із часом початку роботи підприємства та швидкістю фільтрації і конвективного перенесення солей. Навіть у свердловині, забій якої розміщений на 6 м вище від нижньої кромки фільтра свердловини, де відбулось стрімке збільшення мінералізації, тривала експлуатація призводить до метаморфізації води за вмістом іонів хлору та натрію, тобто відбувається підтягування розсолу знизу, що веде до переходу води в категорію умовно питної.

Література

1. Створення комплексу різномасштабних гідрогеологічних моделей Дніпровського артезіанського басейну. Звіт про НДР // наук. кер-к В.М. Шестопапов. – К.: НЦ РПД НАНУ, 2007.
2. Камзіст Ж.С., Шевченко О.Л. Гідрогеологія України, К.: Фірма «ІНККОС», 2009. – 614 с.
3. Робочий проект водозабору підземних вод для нецентралізованого господарсько-питного та технічного водопостачання Гатнянської загальноосвітньої школи І-ІІІ ступенів Києво-Святошинського району Київської області. ТОВ «Дніпрбурсервіс», 2016. – 84 с.
4. Гольдберг В.М., Газда С.И. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. – М.: Недра, 1984. – 262 с.
5. Шевченко О.Л., Корнеєнко С.В., Заверталюк Т.Ю., Корбутяк О.М. Загроза захищеності артезіанських вод Київської області у зв'язку із зростаючим несанкціонованим і неконтрольованим водовідбором. // Водне господарство України, №4, 2011. – С. 16-20.
6. Робочий проект водозабору з однієї артезіанської свердловини для господарсько-питного водопостачання ТОВ «Український Сад» в районі с. Юрівка Макарівського району Київської області. ГП Шевченко О.Л. ТОВ «Дніпрбурсервіс», 2011. – 82 с.
7. Лукнер Л., Шестаков В.М. Моделирование миграции подземных вод. М.: Недра, 1986. – 208 с.
8. Мироненко В.А., Мольский Е.В., Румынин В.Г. Изучение загрязнения подземных вод в горнодобывающих районах. – Лен.-д: Недра, 1988. – 279 с.
9. ГОСТ 31793-2012. Икра лососевая зернистая замороженная. Технические условия
10. ГОСТ 18173-72 Икра лососевая зернистая баночная. Технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3)
11. ГОСТ 18173-2004. Икра лососевая зернистая баночная. Технические условия (с Изменением N 1)
12. ГОСТ 7448-2006. Рыба соленая. Технические условия
13. ГОСТ 7449-96 Рыбы лососевые соленые. Технические условия
14. <https://te.20minut.ua/Groshi/ukrayinsku-ikru-fasuyut-perevazhno-u-selah-na-kiyivschini-10476093.html>
15. Shevchenko, O., Osadchiy, V., Charnyi, D., Onanko, Y., Grebin, V. Influence of global warming on the groundwater resources of the Southern Bug River basin (2019) 18th International Conference «Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects», Geoinformatics 2019, art.no. 15890. Conference Paper CiteScore, Kyiv, Ukraine (13.05.2019).

References

1. Stvorenniya kompleksu riznomasshtabnih gidrogeologichnih modelej Dniprovskogo artezijskogo basejnu. Zvit pro NDR nauk. ker-k V.M. Shestopalov. K.: NIC RPD NANU, 2007.
2. Kamzist Zh.S., Shevchenko O.L. (2009) Hidrogeologiya Ukraini, K.: Firma «INKOS», 614.
3. Robochij proekt vodozaboru pidzemnih vod dlya necentralizovanogo gospodarsko-pitnogo ta tehničnogo vodopostachannya Gatnyanskoyi zagalnoosvitnoyi shkoli I-III stupeniv Kiyev-Svyatoshinskogo rajonu Kiyivskoyi oblasti. TOV «Dniprburservis», 2016. 84 p.
4. Goldberg V.M., Gazda S.I. (1984) Hidrogeologicheskie osnovy ohrany podzemnyh vod ot zagryazneniya. M.: Nedra, 262.
5. Shevchenko O.L., Korniyenko S.V., Zavertalyuk T.Yu., Korbutyak O.M. (2011). Vodne gospodarstvo Ukraini, №4. 16-20.
6. Robochij proekt vodozaboru z odniyei artezijskoyi sverdlolini dlya gospodarsko-pitnogo vodopostachannya TOB «Ukrayinskij Sad» v rajoni s. Yurivka Makarivskogo rajonu Kiyivskoyi oblasti. GIP Shevchenko O.L. TOV «Dniprburservis», 2011. 82.
7. Lukner L., Shestakov V.M. (1986) Modelirovanie migracii podzemnyh vod. M.: Nedra. 208
8. Mironenko V.A., Molskij E.V., Rumynin V.G. (1988) Izuchenie zagryazneniya podzemnyh vod v gornodobyvayushih rajonah. – Len.-d: Nedra. 279.
9. GOST 31793-2012. Ikra lososevaya zernistaya zamorozhennaya. Tehnicheskie usloviya.
10. GOST 18173-72 Ikra lososevaya zernistaya banochnaya. Tehnicheskie usloviya (s Izmeneniyami N 1, 2, 3).
11. GOST 18173-2004. Ikra lososevaya zernistaya banochnaya. Tehnicheskie usloviya (s Izmeneniyami N 1).
12. GOST 7448-2006. Ryba solenaya. Tehnicheskie usloviya.
13. GOST 7449-96 Ryby lososevye solenye. Tehnicheskie usloviya.
14. <https://te.20minut.ua/Groshi/ukrayinsku-ikru-fasuyut-perevazhno-u-selah-na-kiyivschini-10476093.html>.
15. Shevchenko, O., Osadchiy, V., Charnyi, D., Onanko, Y., Grebin, V. (2019) 18th International Conference «Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects», Geoinformatics 2019, art.no. 15890. Conference Paper CiteScore, Kyiv, Ukraine (13.05.2019).

ARTIFICIAL SALINIZATION OF THE AQUIFER IN POLTAVA SEQUENCE DEPOSITS IN THE VILLAGE OF TARASIVKA, KYIV REGION

Shevchenko O.L. D.Sc. (Geol.), Institute of Geology, Taras Shevchenko Kyiv National University, ORCID:0000-0002-5791 -5354, shevch62@gmail.com

Bezrodnyi D.A. PHD.Sc. (Geol.), Institute of Geology, Taras Shevchenko Kyiv National University, ORCID:0000-0001-7463-7133, manific2@ukr.net

The article considers an unprecedented case of intentional artificial pollution of the operational aquifer of local significance in the village of Tarasivka, located in Kyiv-Sviatoshynskiy district, Kyiv region by discharges of spent brine. The source of drinking groundwater pollution in the deposits of the Novopetrivska deposits of the Poltava Miocene sequence was established based on the results of express methods application and logical-apriori analysis. Based on hydrochemical tests, analysis of the results of water pumping from wells and calculations of salt migration rate, it has been proved that the source of contamination could only be a red caviar packing plant, which, according to the regulatory raw material washing technology, produces significant volumes of brine effluents. At the beginning of the study, several possible options for increasing water mineralization were considered, but all signs point to only one source. Firstly, the content of calcium, sodium and chlorine ions in the water is excessive, which rejects the possibility of its contamination from the chemical storage site, which is also located in the area of possible impact; 2) the source of pollution is located higher above the groundwater flow, i.e. in the area of its supply; 3) mineralization (due to the presence of NaCl) in the water of the well, located 440 m downstream from the source of pollution, increases with increasing flow rate and duration of pumping and decreases after rains and infiltration of meltwater, which resembles seawater intrusion into coastal intakes, 4) mineralization increases along the aquifer from top to bottom, in accordance with the density and viscosity of the solution; 5) increased mineralization of this groundwater aquifer in this area is not an isolated phenomenon, salt water was found in wells only downstream from the above mentioned enterprise, in addition, it appeared sequentially, first in a nearby well (365 m) – in about 5 years, then in another well (440 m) – in 6 years, which corresponds to the convective salt transfer rate in sand deposits at the appropriate flow gradients.

Keywords: aquifer, brine, sodium chloride, migration, artificial salinization, concentration, water-bearing rocks, mineralization.