

УДК 556.314(477.83)

**Василь ГАРАСИМЧУК<sup>1</sup>, Роман ПАНЬКІВ<sup>1</sup>, Богдана КАМІНЕЦЬКА<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів,  
e-mail: igggk@mail.lviv.ua

<sup>2</sup> Львівський національний університет ім. Івана Франка,  
e-mail: admingeo@franko.lviv.ua

**ГІДРОДИНАМІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ  
ТА ОЦІНКА ЕКОЛОГО-ГЕОХІМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ГРУНТОВИХ ВОД СІЛЬСЬКОЇ МІСЦЕВОСТІ  
(НА ПРИКЛАДІ с. НОВОСІЛКА ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ)**

Побудовано гідродинамічну модель горизонту ґрунтових вод сільської місцевості під час меженого періоду. З'ясовано, що дзеркало ґрунтових вод відображає морфологію рельєфу, а розвантаження вод проходить у р. Зубра за значення генерального напірного градієнта 0,027. Значення напірних градієнтів між точками опробування коливається в межах 0,018–0,259.

Досліджено якісні та кількісні еколого-гідрохімічні характеристики ґрунтових вод. Встановлено перевищення допустимих норм компонентів азотної групи, Калію, органічної речовини, в окремих пробах – Феруму та Кадмію.

Підраховано питомі значення витрат підземного водного потоку та водорозчиненого йонного стоку в р. Зубра.

*Ключові слова:* моделювання, ґрунтові води, підземний стік, еколого-гідрохімічні характеристики.

**Вступ.** Ґрунтові води – гравітаційні підземні води першого від поверхні постійного водоносного горизонту, який залягає на першому водонепроникному шарі. Зверху вони, зазвичай, не перекриті водонепроникними породами, а водовмісний пласт заповнюють не на всю потужність. Горизонт цих вод формується інфільтраційними атмосферними опадами, а також водою, що проникає із поверхневих водних об'єктів. Глибина їхнього залягання, режим та йонно-сольовий склад зумовлені особливостями рельєфу, клімату, ґрунтового та рослинного покривів, а також специфікою антропогенного навантаження. Цей горизонт безнапірний, а рух вод спрямований від вододілів до дренальних понижень.

В Україні ґрунтові води є основним джерелом питного водопостачання сільської місцевості. Водовідбір здійснюється з допомогою неглибоких колодязів та свердловин.

Через гідрогеологічну відкритість ґрунтові води зазнають значного антропогенного навантаження, тобто забруднення компонентами хімічного і бактеріального характеру: патогенними мікроорганізмами, компонентами азотної групи, важкими металами, комплексними сполуками, токсичними органічними сполуками і ін. Джерелами забруднень є побутові стічні води, стічні води тваринницьких господарств та промислових підприємств, стоки із сільськогосподарських угідь і т. п. Інфільтруючись у розчиненому стані крізь зону аерації, забрудники без суттєвих бар'єрів потрапляють у горизонт ґрунтових вод.

**Огляд попередніх досліджень та публікацій.** У межах Львівської області на основі досліджень, проведених 2011 р., було встановлено перевищення нітратів у приватних криницях у 13,4 % проб. На Жовківщині в зоні впливу Грибовицького сміттєзвалища в селах Великі і Малі Грибовичі, Малехів, Дубляни, Збиранка, Колонія вода в криницях не відповідає нормативам. У ній виявлено перевищення вмісту Кадмію (у кілька разів) та Ртуті (у кільканадцять разів) (Горбань, <http://www.ratusha.lviv.ua/4.08.2011>).

Як показали попередні дослідження, ґрунтові води Яворівського району Львівської області значно забруднені (90 % проб вод) компонентами, вміст яких у кілька разів перевищує ГДКв, і тому вони є непридатними як питні. Основними поліюантами є Калій, компоненти нітрогенної групи, органічні речовини, Манган, Ферум (Геохімічні..., 2010). Інтенсивність поширення забруднень визначається, головним чином, гідродинамічними характеристиками горизонту. Динаміка вод зумовлена інтенсивністю живлення та розвантаження ґрунтових вод, а також ємнісно-фільтраційними параметрами водовмісних порід.

У дослідженнях (Олексійчук, 2009) з'ясовано, що літологічні характеристики зони аерації є важливим чинником, який значною мірою впливає на динаміку ґрунтових вод і є визначальним параметром оцінки їхньої схильності до забруднень.

**Мета досліджень** полягає в оцінці гідродинамічних та еколого-геохімічних умов горизонту ґрунтових вод, що дає змогу встановити наявні джерела забруднення вод, хімічну специфіку поліюантів і динаміку просторового поширення потоків та ореолів забруднень. Наявність гідродинамічних моделей для окремо взятих територій при застосуванні опробованих методик дозволить з великою ймовірністю спрогнозувати масштаби та просторово-часовий механізм забруднення підземної гідросфери під час виникнення місцевих спонтанних екологічних лих.

**Полігон дослідження** – село Новосілка Пустомитівського району Львівської області, розташоване на правому березі р. Зубра, яка впадає в р. Дністер. Водопостачання села нецентралізоване, проводиться з допомогою неглибоких криниць, що експлуатують горизонт ґрунтових вод. Каналізаційна мережа відсутня.

Село Новосілка знаходиться в межах Опілля (Подільське горбогір'я), яке простягається на південний схід від м. Львів. Опілля є однією з найвищих і найбільш розчленованих частин Подільської височини. Заплава р. Зубра в межах села виповнена алювіальними четвертинними відкладами (піски з певною часткою глинистого матеріалу), які перекривають еродовану товщу

маастрихтського ярусу верхньої крейди (міцні мергелі та вапняки). Вододіли сформовані пісковиками та пісками опільської світи раннього бадену.

**Методика досліджень** полягала в замірах рівнів вод у колодязях села під час тривалого меженного періоду, приведенні цих рівнів до абсолютних відміток та побудові площинної гідродинамічної моделі горизонту.

Разом із замірами із криниць відбирали проби вод, у яких визначали вміст макро- та мікрокомпонентів з допомогою хімічних та фізико-хімічних методів у лабораторії проблем геоecології Інституту геології і геохімії горючих копалин НАН України.

У долині ріки відібрали алювіальні відклади, для яких, за методикою Г. Н. Каменського (Каменский, 1933), у лабораторних умовах визначили коефіцієнти фільтрації. Для визначень використовували ґрунтову воду, відібрану із криниць села, із врахуванням поправки на температуру.

Швидкість фільтрації ґрунтових вод та витрату ґрунтового стоку оцінено згідно з лінійним законом фільтрації А. Дарсі:

$$v = K_{\phi} J, \quad (1)$$

де  $v$  – швидкість фільтрації ґрунтового потоку;  $K_{\phi}$  – коефіцієнт фільтрації;  $J$  – напірний градієнт (гідралічний ухил),  
та

$$Q = vF, \quad (2)$$

де  $Q$  – витрата ґрунтового потоку;  $v$  – швидкість фільтрації ґрунтового потоку;  $F$  – площа поперечного перетину ґрунтового потоку.

Результати визначень опрацювали методами математичної статистики з допомогою комп'ютерної програми Statistica та графічних програм Surfer і CorelDraw.

**Результати досліджень.** Гідродинамічна модель горизонту ґрунтових вод с. Новосілка та її векторна інтерполяція представлені відповідно на рис. 1 та 2. Глибина залягання вод у криницях зменшується від 7,4 до 0,2 м у східному та південно-східному напрямках. Дзеркало ґрунтових вод загалом відображає морфологію рельєфу. Водночас спостерігаються гіпсометричні мінімуми в межах тих ділянок, де проводиться найінтенсивніший водовідбір. Генеральний вектор руху ґрунтових вод спрямований у бік р. Зубра, яка є джерелом їхнього розвантаження.

Векторна модель напірних градієнтів горизонту ґрунтових вод (див. рис. 2) дає змогу оцінити їхні значення як між суміжними точками опробування, так і в загальному плані. Максимальні значення напірних градієнтів становлять 0,259; мінімальні – 0,018. Значення напірного градієнта по генеральному вектору становить 0,027. Коефіцієнти фільтрації трьох взірців алювіальних відкладів (пісок дрібнозернистий із різним вмістом глинистого матеріалу), із врахуванням поправки на температуру, становили відповідно 1,12; 3,21 та 3,6 м/добу.

Для обчислення загальної швидкості фільтрації ґрунтового потоку в р. Зубра були прийняті усереднене значення коефіцієнта фільтрації (2,64 м/добу) та значення напірного градієнта по генеральному вектору (0,027). Швидкість фільтрації за обчисленнями становила 0,07 м/добу.

Зважаючи на те, що живлення ріки в межений період відбувається, головним чином, за рахунок ґрунтового стоку, його потужність визначили за

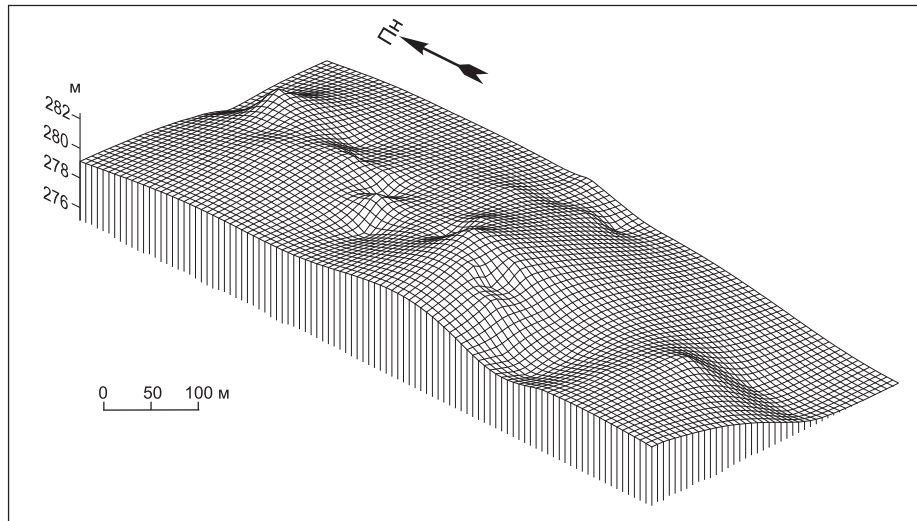


Рис. 1. Гідродинамічна модель горизонту ґрунтових вод с. Новосілка

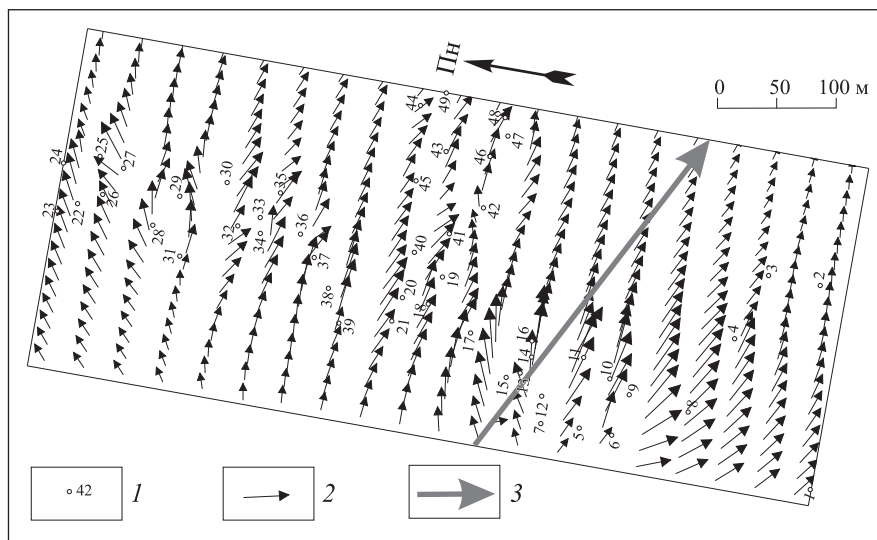


Рис. 2. Векторна модель напірних градієнтів горизонту ґрунтових вод с. Новосілка: 1 – точка опробування та її номер; 2 – вектор напірного градієнта та його величина; 3 – генеральний гідродинамічний вектор.

усередненими значеннями глибини ріки на відтинку досліджень. Вона становила 0,8 м. Протяжність с. Новосілка – 720 м. Підрахована площа поперечного перерізу ґрунтового потоку, який дронується рікою, становить 576 м<sup>2</sup>. Витрата ґрунтового потоку в період досліджень, згідно з підрахунками, становила 40,3 м<sup>3</sup>/добу.

Оцінку еколого-геохімічних характеристик ґрунтових вод проведено шляхом визначення мінералізації, концентрації дисоційованих іонів Гідрогену (*pH*), загальної та усувної твердостей, окисності перманганатної, вмісту йонів макрокомпонентів, а також амонію, нітритів, нітратів, фосфатів, Фтору,

Калію, Молібдену, Купруму, Кадмію, Ніколу, Цинку, Стронцію, Хрому, Феруму, Мангану, Аргентуму.

Загальна мінералізація ґрунтових вод с. Новосілка коливається в межах 266–1536 мг/дм<sup>3</sup> (рис. 3). Її значення певною мірою корелюються з інтенсивністю водовідбору, яка визначає інтенсивність динаміки вод і, у свою чергу, процесів вилуговування водовмісних порід.

Води за складом гідрокарбонатні, гідрокарбонатно-сульфатні, сульфатно-гідрокарбонатні кальцієві, зрідка кальцієво-натрієві і навіть кальцієво-калієві чи калієво-кальцієві.

Серед макрокомпонентів найтісніше корелюють між собою Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Вміст Ca<sup>2+</sup> тісно корельований із кількістю HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

Особливістю ґрунтових вод с. Новосілка є доволі високий вміст іона Калію (див. рис. 3), концентрація якого інколи навіть перевищує таку для Натрію. Хоча вміст Калію для питних вод в Україні не нормується, проте стандарти ЄС він перевищує в декілька разів.

Природним шляхом ґрунтові води збагачуються Калієм унаслідок вилуговування чи йонного обміну із водовмісними породами. Техногенним джерелом є калієвмісні мінеральні добрива та тваринницькі стоки. Зважаючи на доволі тісну кореляцію вмісту Калію з кількістю нітрат-іона, причина високого вмісту Калію – техногенне забруднення.

Концентрація нітрат-іона в ґрунтових водах с. Новосілка (див. рис. 3) у більшості проб значно перевищує гранично допустимі концентрації для питних вод (Гігієнічні..., 2010).

Механізм появи нітратів у воді відбувається за таким ланцюгом:



Джерелами забруднення вод компонентами азотної групи є продукти розкладу органічних речовин, а також азотні добрива та тваринницькі стоки. З огляду на невисокий вміст іонів амонію та нітриту в досліджуваних водах, можна констатувати, що джерела забруднення є відносно давніми та постійно діючими.

Пов'язаність високих концентрацій нітратів із сільськогосподарськими угіддями (див. рис. 3) визначає останні як основне джерело потрапляння цих компонентів унаслідок розчинення водою мінеральних добрив та інфільтрації в ґрунтові води.

Вміст фосфатів коливається в межах 0,02–0,43 мг/дм<sup>3</sup> і не перевищує державних норм, регламентованих значенням 3,5 мг/дм<sup>3</sup>. Кількість Фтору (0,04–0,14 мг/дм<sup>3</sup>) також не перевищує ГДК (1,5 мг/дм<sup>3</sup>).

Окисність перманганатна в більшості проб перевищує регламентований вміст (5,0 мг/дм<sup>3</sup>), що вказує на значне забруднення ґрунтових вод села органічними компонентами.

Загалом концентрації досліджуваних металів у водах не перевищують їхні норми для питних вод із колодязів та каптажів джерел (за одиничним винятком заліза) (табл. 1). Хоча вміст кадмію у водах із колодязів та каптажів джерел не лімітується, проте його концентрації у значній кількості проб перевищують допустимі норми для водопровідної води.

Значення витрат ґрунтового стоку, мінералізації та водорозчинених іонів (табл. 2) дали змогу оцінити (у певному наближенні і без урахування

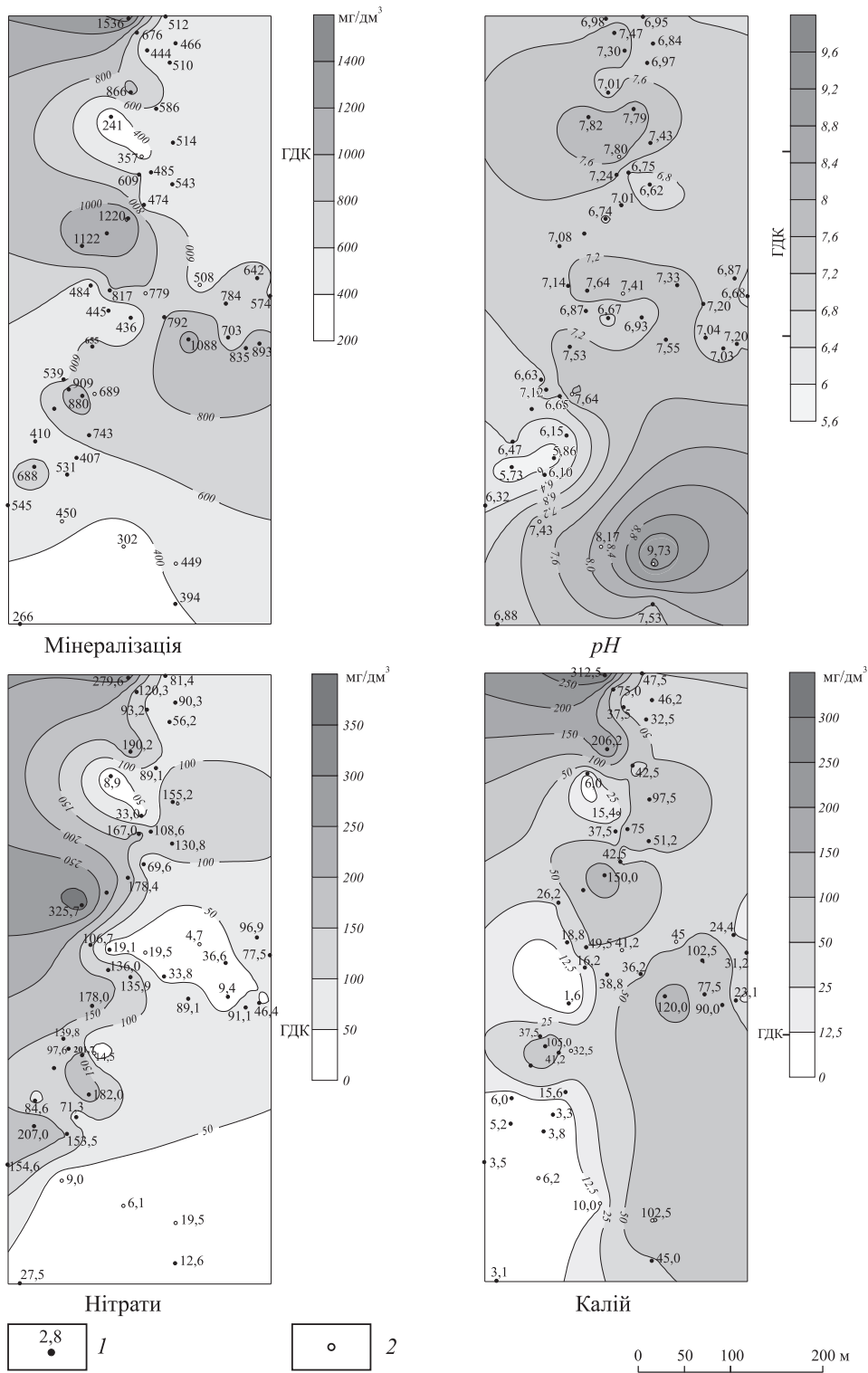


Рис. 3. Карто схеми еколого-геохімічних характеристик ґрунтових вод с. Новосілка: *I* – криниця і значення параметра чи вміст водорозчиненого йона в пробі, мг/дм<sup>3</sup>; 2 – закинуті криниці.

Таблиця 1. Вміст (мкг/л) іонів металів у ґрунтових водах с. Новосілка

Номер проби	Mo	Cu	Cd	Ni	Zn	Sr	Cr	Fe	Mn	Ag
1	0,4	16,1	<60,3	1,4	<66,3	17,1	<6	8,9	4,2	0,1
2	2,4	16,1	<20,6	1,8	<77,1	68,9	<6,9	7,2	4,5	<1,5
3	4	59	<68,8	7,7	<84,7	20,2	6,6	3561,2	232,8	<1,4
6	<1,4	16,6	4,1	34,8	<94,8	563,9	3,5	26,6	93,3	<1,5
13	<1,5	10	<75	3,9	<98	559	<8,6	27,3	2,5	0,6
25	5,4	20,5	<67,5	3,9	<81,9	64,5	1,3	15,4	5,1	0,5
31	2,2	31,1	<20,1	2,1	<70,1	43,7	<6,3	132,8	8	0,1
35	1,2	3,1	<0,9	3,5	<85,5	522,8	<7,6	12,6	7,8	0,5
39	<1,7	5,9	21,8	8,9	<115,9	2480,6	<10	16,1	5,3	1,1
40	2,9	14,1	4,7	3,9	<89,6	228,9	<7,9	18,1	3,9	0,5
43	2,1	16	2,5	<7,3	<92,1	81,8	<8,1	9,1	2,4	0,6
50	1,2	7,5	<65	2,1	<76,5	2420,3	<6,9	10,1	2,6	0,1
ГДК*	н. в.***	н. в.	н. в.	н. в.	н. в.	н. в.	н. в.	н. в.	н. в.	н. в.
ГДК**	≤70	≤1000	≤1	≤20	≤1000	≤7000	≤50	≤1000	≤500	н. в.

\* у водах з колодязів та каптажів джерел;

\*\* у водопровідній воді;

\*\*\* не визначається.

Таблиця 2. Середні значення мінералізації та вмісту іонів у ґрунтових водах с. Новосілка

M <sup>*</sup>	Na	K	Ca	Mg	NH <sub>4</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	F	PO <sub>4</sub>	Mo	Cu	Cd	Ni	Zn	Sr	Cr	Fe	Mn	Ag
	мг/дм <sup>3</sup>											мкг/дм <sup>3</sup>									
630,7	24,7	50,8	91,2	12,0	0,05	29,3	50,8	272,1	96,7	0,05	0,3	2,2	18,0	34,2	6,7	86,0	588,1	6,6	320,4	31,0	0,7

\* мінералізація.

Таблиця 3. Кількісні характеристики стоку водорозчинених іонів із с. Новосілка в р. Зубра

M <sup>*</sup>	Na	K	Ca	Mg	NH <sub>4</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	F	PO <sub>4</sub>	Mo	Cu	Cd	Ni	Zn	Sr	Cr	Fe	Mn	Ag
	кг/добу											г/добу									
25,4	0,9	2	3,6	0,4	0,002	1,1	2,0	10,9	3,8	0,002	0,01	0,09	0,7	1,4	0,3	3,4	27,3	0,3	12,9	1,2	0,03

\* мінералізація.



фізико-хімічних механізмів затримки) кількісні характеристики стоку цих компонентів у р. Зубра упродовж визначеного періоду (табл. 3).

**Висновки.** Вектор руху ґрунтових вод с. Новосілка спрямований у напрямку р. Зубра. Дзеркало вод загалом відтворює характер рельєфу місцевості. Напірні градієнти знаходяться в межах 0,018–0,259. Значення напірного градієнта по генеральному вектору становить 0,027.

Значення мінералізації ґрунтових вод корелюються з інтенсивністю водовідбору, яка визначає інтенсивність динаміки вод і, у свою чергу, процесів вилуговування водовмісних порід.

Води за складом гідрокарбонатні, гідрокарбонатно-сульфатні, сульфатно-гідрокарбонатні кальцієві, зрідка кальцієво-натрієві, кальцієво-калієві та калієво-кальцієві.

Підвищені концентрації компонентів азотної групи та Калію зумовлені, головним чином, інфільтратами із сільськогосподарських угідь і тваринницькими стоками. Також ґрунтові води с. Новосілка характеризуються підвищеними концентраціями органічних сполук та в окремих пробах Феруму та Кадмію.

Витрата ґрунтового потоку в меженний період становить 40,3 м<sup>3</sup>/добу. Протягом доби з підземним стоком с. Новосілка в р. Зубра потрапляє сумарно 25,4 кг розчинених речовин, серед них іонів: Na – 0,9 кг, K – 2 кг, Ca – 3,6 кг, Mg – 0,4 кг, NH<sub>4</sub> – 0,002 кг, Cl – 1,1 кг, SO<sub>4</sub> – 2,0 кг, HCO<sub>3</sub> – 10,9 кг, NO<sub>3</sub> – 3,8 кг, F – 0,002 кг, PO<sub>4</sub> – 0,01 кг, Mo – 0,09 г, Cu – 0,7 г, Cd – 1,4 г, Ni – 0,3 г, Zn – 3,4 г, Sr – 27,3 г, Cr – 0,3 г, Fe – 12,9 г, Mn – 1,2 г, Ag – 0,03 г.

*Геохімічні особливості ґрунтових вод Яворівщини (південно-західна частина Волино-Подільської плити) / Р. Паньків, В. Колодій, Ю. Хованець і ін. // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2010. – № 1 (150). – С. 69–85.*

*Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. Державні санітарні норми та правила : ДСанПін 2.2.4-171-10. – К., 2010. – 41 с.*

*Горбань Н.* Убивча вода. Кожна восьма криниця Львівщини забруднена нітратами. – Режим доступу : <http://www.ratusha.lviv.ua/4.08.2011>.

*Каменский Г. Н.* Основы динамики подземных вод. – М. ; Л. : Геолразведиздат, 1933. – Ч. 1 : Гидрогеологическая лаборатория и основные законы фильтрации. – 152 с.

*Олексійчук Т.* Літологія зони аерації як один з параметрів оцінки схильності ґрунтових вод до забруднення // Наук. вісн. Чернів. ун-ту. – 2009. – Вип. 434. Географія. – С. 151–158.

Стаття надійшла  
04.10.12

**Vasyl HARASYMCHUK, Roman PANKIV, Bohdana KAMINETSKA**

**HYDRODYNAMIC MODELLING AND ASSESSMENT  
OF ENVIRONMENTAL AND GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS  
OF GROUNDWATER RUNOFF OF RURAL AREA  
(FOR EXAMPLE VILLAGE NOVOSILKA, LVIV REGION)**

Hydrodynamic model of the groundwater horizon of the rural area during low-flow period on the example of the village of Novosilka was built.

Discharge of groundwater of the village of Novosilka is directed towards the Zubra River. Ground-water table generally reflects the morphology of the relief. Pressure gradients are within 0.018–0.259. The value of the general pressure gradient is 0.027.

The value of groundwater mineralization is correlated with the intensity of water-intake which determines the intensity of water dynamics and, in its turn, processes of leaching water-containing rocks.

Water composition included hydrocarbonate, hydrocarbonate-sulphate, calcium-sulphate, less calcium-sodium, calcium, potassium and potassium-calcium.

Increased concentrations of nitrogen and potassium group due to mainly infiltrates of farmland and livestock effluents were determined.

Also groundwater of the Novosilka village is characterized by increased concentrations of organic compounds and in some samples of iron and cadmium.

Consumption of groundwater flow in low-flow period is 40.3 m<sup>3</sup>/day. During the days of the subsurface drainage of the village of Novosilka into in the Zubra river flows altogether 25.4 kg solutes, including ions of Na – 0.9 kg, K – 2 kg, Ca – 3.6 kg, Mg – 0.4 kg, NH<sub>4</sub> – 0.002 kg, Cl – 1.1 kg, SO<sub>4</sub> – 2.0 kg, HCO<sub>3</sub> – 10.9 kg, NO<sub>3</sub> – 3.8 kg, F – 0.002 kg, PO<sub>4</sub> – 0.01 kg, Mo – 0.09 g, Cu – 0.7 g, Cd – 1.4 g, Ni – 0.3 g, Zn – 3.4 g, Sr – 27.3 g, Cr – 0.3 g, Fe – 12.9 g, Mn – 1.2 g, Ag – 0.03 g.