

УДК 004.942:556.314(477-25)

О.Є. Кошляков, д-р геол. наук, доц.,
Т.О. Кошлякова

Київський національний університет ім. Т. Шевченка,
м.Київ, Україна, e-mail: kosh@univ.kiev.ua

ВИЯВЛЕННЯ ДИНАМІКИ ЗМІН ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ПІДЗЕМНИХ ВОД СЕНОМАН-КЕЛОВЕЙСЬКОГО ВОДОНОСНОГО КОМПЛЕКСУ В М. КИЇВ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОЇ СТАТИСТИКИ

О.Ye. Koshliakov, Dr. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.,
T.O. Koshliakova

Taras Shevchenko National Kyiv University, Kyiv, Ukraine,
e-mail: kosh@univ.kiev.ua

STUDY OF SENOMAN-KELOVEY GROUND WATER COMPLEX CHEMICAL COMPOSITION CHANGE DYNAMICS WITHIN THE CONFINES OF THE CITY OF KYIV BY MATHEMATICAL STATISTICS METHODS

Мета. Виявлення тенденцій змін хімічного складу та класу якості питних підземних вод сеноман-келовейського водоносного комплексу в межах м. Київ, викликаних тривалою експлуатацією, за допомогою математико-статистичних методів та ГІС-технологій.

Методика. У роботі застосовані системний, математико-статистичний, геоінформаційний підходи до вивчення об'єкта, метод типізації та описовий метод. Для математичної й статистичної обробки були обрані пакети програм Microsoft Excel, Statistica, Attestat; для побудови картографічних схем, а також для просторового аналізу та моделювання в ГІС були застосовані програми Corel Draw, MapInfo Professional та ArcView.

Результати. Розроблена методика дослідження змін хімічного складу та якості питних підземних вод м. Київ на базі спільного застосування методів математичної статистики та геоінформаційних технологій. Наведений опис та обґрунтування застосування методів непараметричної статистики (критерій Мана-Уїтні) та критерію Аббе, що були використані для аналізу гідрохімічних даних. Виконана типізація території м. Київ та виділені найбільш вразливі до забруднення ділянки міста.

Наукова новизна. Уперше виявлена загальна тенденція до погіршення класу якості води сеноман-келовейського водоносного комплексу в межах території м. Київ. Встановлено, що зміни основних компонентів хімічного складу питних підземних вод досліджуваного водоносного комплексу на території міста мають нерівномірний за площею характер і залежать від інтенсивності експлуатації та геолого-гідрогеологічної й геоморфологічної будови ділянки території. Також уперше була виконана типізація території м. Київ за змінами основних компонентів хімічного складу та класу якості питних підземних вод сеноман-келовейського водоносного комплексу, встановлені тенденції цих змін.

Практична значимість. Практичне врахування встановлених тенденцій змін хімічного складу та класу якості питних підземних вод сеноман-келовейського водоносного комплексу в межах м. Київ дозволить запобігти подальшому погіршенню якості підземних вод шляхом оптимізації системи їх експлуатації. Отримані результати можуть слугувати основою для розробки системи моніторингу хімічного складу питних підземних вод у м. Київ, методичні підходи та прийоми можуть бути використані для вивчення підземних вод на інших урбанізованих територіях.

Ключові слова: підземні води, якість води, хімічний склад, імовірісно-статистичні методи, непараметрична статистика, ГІС, тенденція

Актуальність проблеми. Водонесний комплекс у відкладах іваницької світи середньої й верхньої юри та загорівської, журавинської, бурімської світ нижньої й верхньої крейди (далі – сеноман-келовейський водо-

носний комплекс), як і водонесний горизонт у відкладах орельської світи байоського ярусу середньої юри, є стратегічно важливим джерелом прісної питної води для населення м. Київ. Його експлуатація розпочалася наприкінці ХІХ ст. і триває досі, причому темпи та обсяги водовідбору постійно нарощувалися (за винятком

короткого періоду у 90-тих роках минулого століття). Цей процес триває й нині. Режим зміни гідродинамічних напорів сеноман-келовейського водоносного комплексу внаслідок антропогенного втручання вивчається з 1926 р., перші систематизовані результати були опубліковані Є.Ф. Таммом та К.К. Перевозниковим. У результаті ґрунтовних досліджень, проведених у різні роки, було виявлено, що збільшення й розширення воронки депресії в сеноман-келовейському водоносному комплексі на території Києва є безперервним процесом. У результаті інтенсивної експлуатації вод комплексу переважає процес низхідної фільтрації, що обумовлює формування експлуатаційних запасів підземних вод комплексу за рахунок вищезалеганих горизонтів і поверхневих вод. При цьому долина р. Дніпро, що у природних умовах була основним контуром розвантаження підземних вод, перетворилася на додаткову область інтенсивного живлення. Наголошувалося на тому, що зміни гідродинамічного режиму підземних вод, викликані діяльністю людини, у свою чергу, впливають на зміни гідрогеохімічного режиму підземних вод, а діяльність людини – на їх забруднення.

Аналіз проблеми. Слід зазначити, що до теперішнього часу аналіз змін хімічного складу підземних вод у досліджуваному водоносному комплексі проводився на основі вивчення гідродинамічних процесів. Виявлено, що внаслідок тривалої експлуатації комплексу змінився напрямок потоку підземних вод із висхідного до низхідного, при цьому долина р. Дніпро із зони розвантаження перетворилася на зону живлення підземних вод. Саме зміною гідродинамічних умов пояснювалося підвищення концентрації окремих компонентів у складі підземних вод. У той же час дослідження змін хімічного складу підземних вод сеноман-келовейського водоносного комплексу проводилися на локальних ділянках по окремим свердловинам або по площі на один період часу [1], однак не були простежені системно за площею в часі.

Авторами виконане дослідження тенденцій зміни хімічного складу та якості питних підземних вод сеноман-келовейського водоносного комплексу в м. Київ унаслідок тривалої експлуатації [2] на основі математико-статистичної обробки даних про хімічний склад води, отриманих по свердловинах, що були пробурені в різні періоди часу (з кінця XIX до початку XXI ст.).

Для цього були зібрані, систематизовані та оброблені архівні фондові матеріали, що охоплюють проміжок часу з кінця XIX до початку XXI ст. У середовищі програми MapInfo Professional був створений макет фактографічної бази даних, що містить інформацію щодо хімічного складу води сеноман-келовейського водоносного комплексу із 298 свердловин.

Математична обробка даних мала на меті виявити зміни та їх закономірності в хімічному складі досліджуваного водоносного комплексу за допомогою методів математичної статистики, оскільки в розпорядженні авторів були різночасові дані, що дало

зможу сформувати вибірки для подальшої обробки. Однак застосування класичних параметричних критеріїв та методів математичної статистики накладає певні обмеження на можливість обробки вихідних даних. Зокрема, умовою застосування t-критерію Стюдента та F-критерію Фішера є нормальний закон розподілу. Також ці критерії дають найбільш точний результат при відносно великих об'ємах досліджуваного вибірок [3].

Методика та результати дослідження. На початку дослідження наявні дані були розбиті на різночасові вибірки для таких показників хімічного складу підземних вод, як мінералізація, амоній та окислюваність. Вибір саме цих показників обумовлений тим, що, згідно з європейськими нормами (EU Water Framework Directive 2000/60/EC) [4], при здійсненні моніторингу хімічного стану підземних вод повинні контролюватися такі ключові параметри: вміст кисню, величина рН, електрична провідність, нітрати, амоній (електрична провідність при цьому є вираженням такого показника, як загальна мінералізація). Крім того, для виконання подальших розрахунків та порівняння різночасових вибірок потрібно було враховувати ті показники хімічного складу, що вимірювалися ще наприкінці XIX – на початку XX ст. Часові інтервали (кінець XIX – початок XX ст., 60–80 роки XX ст., 90-ті роки XX ст. та початок XXI ст.) обумовлені особливостями темпів і обсягів експлуатації досліджуваного водоносного комплексу.

Для математичної обробки був застосований критерій непарних порівнянь – критерій Мана-Уїтні, що належить до непараметричних критеріїв, які застосовують з метою перевірки приналежності вибірок до однієї генеральної сукупності. При застосуванні цього критерію розглядаються дві незалежні вибірки, причому число спостережень у них може відрізнятися. Загалом розрізняють критерії співставлення, що засновані на знаках (Мана-Уїтні) або рангах (Уїлкоксона).

Критерій непарних порівнянь Мана-Уїтні розраховують, порівнюючи кожне спостереження однієї вибірки з кожним спостереженням іншої вибірки. Нехай подія $x_i < y_i$ означає «успіх», протилежна подія – „невдачу“. Сумуючи число успіхів, отримуємо критерій

$$T = \sum_{i=1}^n h_i,$$

де $h_i = 1$, якщо $x_{1i} < x_{2i}$; $h_i = 0$, якщо $x_{1i} > x_{2i}$.

Величина T може приймати цілочислове значення в інтервалі від 0 до $n_1 n_2$. При цьому n_1 та n_2 – кількість значень у вибірках, що порівнюються між собою. При співпадінні розподілів $T = n_1 n_2 / 2$. Критичні точки розподілу визначаються рівнем значущості та двома ступенями свободи, котрі рівні n_1 та n_2 .

Були отримані наступні результати. За даними багатолітніх спостережень значення величини мінералізації (середнє та медіана) в сеноман-келовейському водоносному комплексі практично не змінилося (середнє 356,9 мг/дм³ і медіана 350 мг/дм³ на початок XXI ст. порівняно з середнім 356,5 мг/дм³ і

медіаною 353,7 мг/дм³ на кінець XIX–початок XX ст.). Що стосується вмісту амонію в досліджуваному водоносному комплексі, то його концентрація була стабільною до 90-тих років XX ст., коли його середнє значення збільшилося до 1,3 мг/дм³, а медіана – до 0,4 мг/дм³. На початку XXI ст. вміст амонію знизився до рівня кінця XIX–початку XX ст. Показник окислюваності збільшився за середнім на 1,38 мгО₂/дм³ і за медіаною на 0,87 мгО₂/дм³ у період інтенсивної експлуатації водоносного комплексу (60–80-ті роки XX ст.). Хоча статистично за окислю-

ваністю сьогоднішній хімічний склад сеноманкеловейської води не відрізняється від кінця XIX–початку XX ст., середнє та медіана цього показника у двотисячних роках є більшими, ніж на початку експлуатації досліджуваного водоносного комплексу. Крім того, різночасові вибірки підкоряються різним законам розподілу (нормальному або логнормальному). У більшості випадків встановити закон розподілу не вдалося. Наявність бімодального розподілу для окислюваності дозволяє припустити можливість нерівномірності змін даного показника по площі (рис. 1).

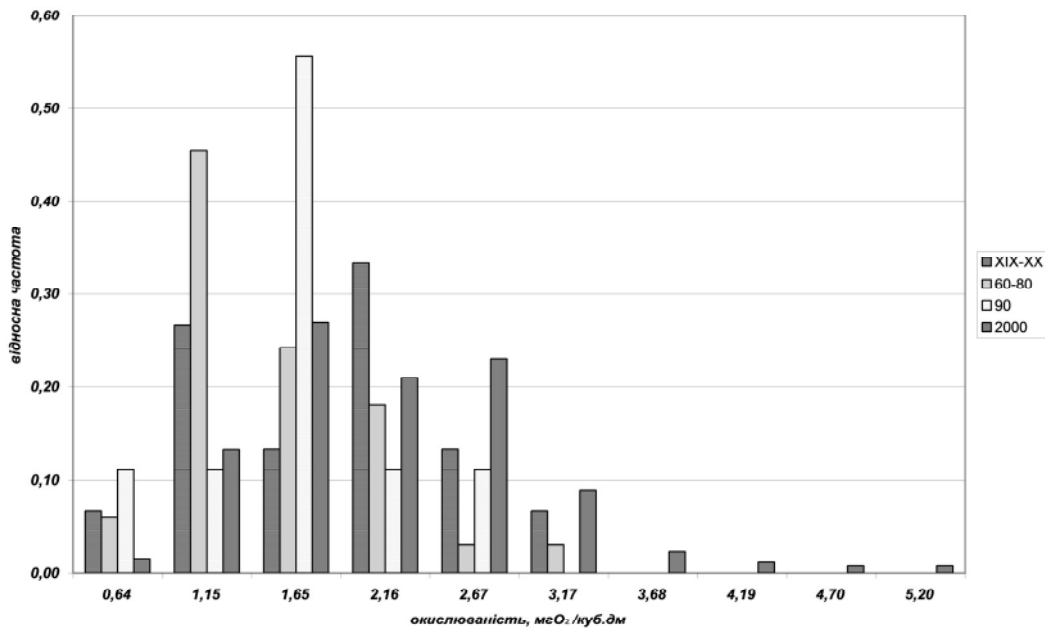


Рис. 1. Гістограма значень окислюваності на період з кінця XIX до початку XXI століття

На наступному етапі дослідження авторами була виконана типізація території м. Київ за особливостями геолого-гідрогеологічної будови території. Виділені типи відповідають геоморфологічним таксонам: рівнинна частина Придніпровської височини, лесові останці Придніпровської височини, долини малих річок, долина р. Дніпро та частина Придніпровської

низовини. Для кожного виділеного типу були сформовані різночасові вибірки. Виділені вибірки за обраними показниками порівнювалися як для кожного окремого типу території, так і між різними типами (табл. 1), де T_a – нижня критична межа; T_{1-a} – верхня критична межа; T – розраховане значення критерію Мана-Уїтні.

Таблиця 1

Результати аналізу зі встановлення приналежності вибірок до однієї генеральної сукупності за допомогою непараметричного критерію Мана-Уїтні (на прикладі рівнинної частини Придніпровської височини)

Показник хімічного складу	Часові вибірки, що порівнюються								
	кінець XIX – початок XX ст. та 60–80-ті роки XX ст.			60–80-ті роки XX ст. та 90-ті роки XX ст.			90-ті роки XX ст. та 2000-ні роки		
мінералізація	$T_a=23$	$T_{1-a}=67$	$T=48$	$T_a=29$	$T_{1-a}=79$	$T=66$	$T_a=36$	$T_{1-a}=96$	$T=67$
	Однакові генеральні сукупності			Однакові генеральні сукупності			Однакові генеральні сукупності		
амоній	$T_a=16$	$T_{1-a}=49$	$T=52$	$T_a=3$	$T_{1-a}=23$	$T=25$	$T_a=6$	$T_{1-a}=42$	$T=41,5$
	Різні генеральні сукупності			Різні генеральні сукупності			Однакові генеральні сукупності		
окислюваність	$T_a=16$	$T_{1-a}=49$	$T=41$	$T_a=7$	$T_{1-a}=32$	$T=29$	$T_a=15$	$T_{1-a}=60$	$T=62$
	Однакові генеральні сукупності			Однакові генеральні сукупності			Різні генеральні сукупності		

Було з'ясовано, що в межах рівнинної частини Придніпровської височини та лесових останців Придніпровської височини, долин малих річок, частини Придніпровської низовини мінералізація лишалася незмінною протягом усього терміну експлуатації водоносного комплексу. Натомість у межах долини р. Дніпро мінералізація зменшилася, починаючи з 90-тих років минулого століття, і лишається такою й нині.

У межах лесових останців Придніпровської височини та долин малих річок за амонієм змін не відбулося. У межах рівнинної частини Придніпровської височини та долини р. Дніпро величина амонію зменшилася у 60–80-х роках. Далі в межах долини р. Дніпро зміни не фіксуються, натомість у межах рівнинної частини Придніпровської височини у 90-тих роках показник амонію збільшився, а на початку ХХІ ст. знову зменшився.

У межах лесових останців Придніпровської височини, долини р. Дніпро, долин малих річок величина окислюваності підвищилася в період інтенсивної експлуатації водоносного комплексу (60–80-ті роки ХХ ст.) і лишається такою й нині. Натомість у межах рівнинної частини Придніпровської височини величина окислюваності лишалася сталою до початку ХХІ ст. Наразі вона зменшилася порівняно з 90-ми роками.

При дослідженні процесів зміни хімічного складу підземних вод водоносного комплексу між виділеними типами території були виявлені наступні тенденції (рис. 2):

1. За величиною мінералізації станом на кінець ХІХ – початок ХХ ст. найбільші значення були в межах долини р. Дніпро (значення медіани 388,4 мг/дм³). Долина р. Дніпро за мінералізацією перевищувала рівнинну частину Придніпровської височини (332 мг/дм³), долини малих річок (348 мг/дм³), а

також лесові останці Придніпровської височини (328 мг/дм³). Станом на 60–80-ті роки ХХ ст. величина мінералізації у всіх п'яти типах стала однорідною й залишається такою.

2. За показником окислюваності станом на кінець ХІХ – початок ХХ ст. найбільші значення були в межах лесових останців Придніпровської височини (1,6 мгО₂/дм³), що перевищували окислюваність у межах рівнинної частини Придніпровської височини (1,25 мгО₂/дм³) та в межах долин малих річок (1,36 мгО₂/дм³). На період 60-80-тих років ХХ ст. величина окислюваності збільшилася в межах долини р. Дніпро та стала істотно перевищувати окислюваність у межах рівнинної частини Придніпровської височини, а також частини Придніпровської низовини. На початку ХХІ ст. найбільшою окислюваність була в межах частини Придніпровської низовини (2,23 мгО₂/дм³), що перевищує значення окислюваності в межах рівнинної частини Придніпровської височини (1,84 мгО₂/дм³), а також долини р. Дніпро (1,64 мгО₂/дм³).

3. За показником амонію станом на кінець ХІХ – початок ХХ ст. різні типи відрізнялися між собою: найнижчі значення були в межах лесових останців Придніпровської височини (0,28 мг/дм³) та долин малих річок (0,15 мг/дм³). Більші значення амонію були в межах рівнинної частини Придніпровської височини (0,36 мг/дм³) та долини р. Дніпро (0,35 мг/дм³). На період 60–80-тих років ХХ ст. показник амонію у всіх п'яти типах став однорідним і лишився таким до початку ХХІ ст. На початку ХХІ ст. найвище значення амонію було в межах долин малих річок (0,42 мг/дм³) та в межах долини р. Дніпро (0,38 мг/дм³), що перевищило відповідні значення в межах рівнинної частини Придніпровської височини (0,14 мг/дм³), а також лесових останців Придніпровської височини (0,22 мг/дм³).

Кінець ХІХ – поч. ХХ ст. 60-80-ті роки ХХ ст. 90-ті роки ХХ ст. Поч. ХХІ ст.

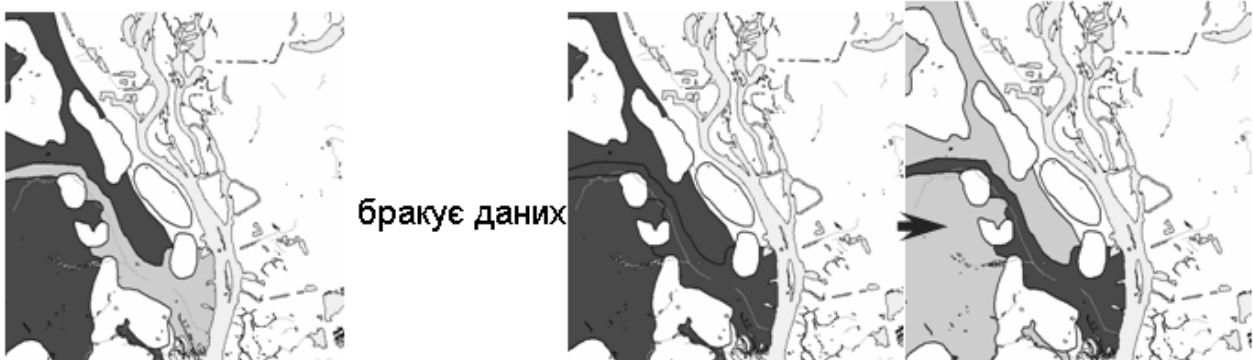


Рис. 2. Схематична карта зміни співвідношення концентрації показника амонію між рівнинною частиною Придніпровської височини та долинами малих річок у процесі експлуатації (чорним кольором позначено збільшення концентрації амонію)

З метою перевірки гіпотези щодо відсутності невідповідної мінливості (тренда) досліджуваних показників для виділених типів території був застосований критерій Аббе. Цей критерій, зазвичай, використовують з метою перевірки гіпотези щодо од-

норідності ряду спостережень і відсутності в них систематичної зміни. Для цього в межах кожного типу обиралася свердловина з найбільш тривалим часом спостережень за хімічним складом підземних вод. Спочатку обчислювалася статистика Аббе *r*

$$r = \frac{1}{2 \cdot (n-1)} \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (x_{i+1} - x_i)^2}{\sigma^2},$$

де x_i – i -те значення вибірки; x_{i+1} – $i+1$ -ше значення вибірки; σ – стандартне відхилення; n – кількість значень у вибірці.

Результати перевірки наявності тренду у змінах хімічного складу підземних вод за допомогою критерію Аббе в межах частини Придніпровської низовини (рівень значущості 0,05)

Показник хімічного складу	r	r_p	Наявність тренду
Мінералізація	0,618	0,650	Так
NH ₄	0,210	0,650	Так
Окислюваність	0,668	0,650	Ні

У результаті був виявлений тренд на підвищення величини мінералізації в долині р. Дніпро та долинах малих річок, а тренд на зменшення величини мінералізації та величини амонію був виявлений у межах частини Придніпровської низовини. Наявність тренду свідчить про систематичні зміни значених показників хімічного складу підземних вод.

Висновки. У результаті виконаного дослідження авторами були зроблені наступні висновки. За величиною мінералізації істотних змін у процесі експлуатації сеноман-келовейського водоносного комплексу виявлено не було. Однак, виявлення тренду за допомогою критерію Аббе дало змогу виявити тенденцію до підвищення мінералізації в межах долин малих річок та долини р. Дніпро. Значення окислюваності істотно збільшилося в період інтенсивної експлуатації підземних вод (60–80-ті роки ХХ ст.) у межах долини р. Дніпро, що в часі співпадає з інверсією потоку підземних вод з висхідного до низхідного. На початок ХХІ ст. найбільші значення окислюваності спостерігаються в межах частини Придніпровської низовини (лівий берег р. Дніпро).

За показником амонію зміни відбулися на початку ХХІ ст., коли найбільші значення цього показника стали характерними для долин малих річок та долини р. Дніпро, у той час як на початку експлуатації водоносного комплексу ці типи характеризувалися меншими показниками амонію в порівнянні з іншими типами.

Таким чином, можна стверджувати, що найбільш вразливими, з точки зору зміни хімічного складу підземних вод, типами території є долини малих річок, долина р. Дніпро, а також частина Придніпровської низовини. Для цих трьох типів характерна зміна величини мінералізації, показників амонію та окислюваності в часі. Це явище можна пояснити тим, що вищезгадані типи геологічно є менш захищеними від забруднення з поверхні. Крім того, ці типи зазнають більшого впливу від поверх-

Критерій Аббе r_p визначається за допомогою таблиці в залежності від кількості значень у вибірці при певному рівні значущості. Якщо $r \geq r_p$, приймалася гіпотеза щодо відсутності систематичної зміни у впорядкованій послідовності даних. Результати перевірки наведені в табл. 2, де r – статистика Аббе; r_p – табличне значення критерію Аббе.

Таблиця 2

невих вод. Порушення хімічного балансу підземних вод сеноман-келовейського водоносного комплексу співпадає в часі з порушенням гідродинамічного режиму комплексу, встановленого фахівцями-гідрогеологами, починаючи з 50-тих років ХХ ст.

Список літератури / References

- Злобіна К.С. Особливості хімічного складу підземних вод Києва, що використовуються для біоветного водопостачання / К.С. Злобіна, І.В. Кураєва, Г.А. Кроїк // Вісник Дніпропетровського університету. Серія „Геологія. Географія“. – 2011. – Вип. № 13. – С. 58–63.
Zlobina, K.S., Kuraieva, I.V. and Kroik, G.A. (2011), “Chemical composition features of the groundwater used for well-room water supply in Kyiv”, *Visnyk Dnipropetrovskogo universytetu. Series “Geology. Geography”*, no. 13, pp. 58–63.
- Кошлякова Т.О. Зміни хімічного складу питних підземних вод м. Києва у процесі експлуатації / Т.О. Кошлякова // Зб. наук. праць Ін-ту геологічних наук НАН України. – 2011. – Вип. 4. – С. 88–93.
Koshliakova, T.O. (2011), “Kyiv potable groundwater chemical composition changes during exploitation period”, *Zbirnyk naukovykh prats Institutu geologichnykh nauk NAN Ukrainy*, no. 4, pp. 88–93.
- Соловьев В.А. Проблема математизации геологии / В.А. Соловьев, Л.П. Соловьёва // Бюл. Моск. об-ва испытателей природы. отд. геол. – 2010. – С. 63–69.
Solovyov, V.A. and Solovyova, L.P. (2010), “The problem of mathematization of geology”, *Bulleten Moskovskogo Obshestva ispytateley prirody. Series “Geology”*, pp. 63–69.
- Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60. Основні терміни та їх визначення=EU Water Framework Directive 2000/60/EC. Definitions of Main Terms / пер. В. Лозанський; за участю: К. Алієв, Ю. Віденіна, Н. Загорчевна [та ін.]; вступ. слово: П.М. Ігнатенко, У. Гершель. – К., 2006. – Текст укр, англ.
EU Water Framework Directive 2000/60/EC (2006). The main terms and their definitions. *The official Ukrainian translation*, Kyiv, Ukraine.

Цель. Выявление тенденций изменений химического состава и класса качества питьевых подземных вод сеноман-келловейского водоносного комплекса в пределах города Киев, вызванных длительной эксплуатацией, при помощи математико-статистических методов и ГИС-технологий.

Методика. В работе использованы системный, математико-статистический, геоинформационный подходы к изучению объекта, метод типизации и описательный метод. Для математической и статистической обработки были выбраны пакеты программ Microsoft Excel, Statistica, Attestat; для построения картографических схем, а также для пространственного анализа и моделирования в ГИС были использованы программы Corel Draw, MapInfo Professional и ArcView.

Результаты. Предлагается методика исследования изменений химического состава и качества питьевых подземных вод г. Киев на базе совместного применения методов математической статистики и геоинформационных технологий. Приведено описание и обоснование методов непараметрической статистики (критерий Манна-Уитни) и критерия Аббе, которые были использованы для анализа гидрохимических данных. Выполнена типизация территории г. Киев по геоморфологическому признаку и выделены наиболее уязвимые к загрязнению участки города.

Научная новизна. Впервые выявлена общая тенденция к ухудшению класса качества воды сеноман-келловейского водоносного комплекса в пределах территории г. Киев и установлено, что изменения основных компонентов химического состава питьевых подземных вод исследуемого водоносного комплекса на территории города имеют неравномерный по площади характер и зависят от интенсивности эксплуатации, а также геолого-гидрогеологического и геоморфологического строения участка территории. Также впервые была выполнена типизация территории г. Киев по изменениям основных компонентов химического состава и класса качества питьевых подземных вод сеноман-келловейского водоносного комплекса, установлены тенденции этих изменений.

Практическая значимость. Практический учет установленных тенденций изменений химического состава и класса качества питьевых подземных вод сеноман-келловейского водоносного комплекса в пределах г. Киев позволит предотвратить дальнейшее ухудшение качества подземных вод путем оптимизации системы их эксплуатации. Полученные результаты могут послужить основой для разработки системы мониторинга химического состава питьевых подземных вод в г. Киев, методические подходы и приемы могут быть использованы для изучения подземных вод на урбанизированных территориях.

Ключевые слова: *подземные воды, качество воды, химический состав, вероятностно-статистические методы, непараметрическая статистика, ГИС, тенденция*

Purpose. To determine the tendencies in the potable groundwater chemical composition and quality class changes of senoman-kelovey groundwater complex within the confines of the city of Kyiv caused by long-term exploitation, by means of mathematical-statistical methods and GIS-technologies.

Methodology. Systemic, mathematical-statistical, geoinformational approaches, typification method and descriptive procedure were used in research. Microsoft Excel, Statistica, Attestat software packages were chosen for mathematical and statistical processing. Corel Draw, MapInfo Professional and ArcView programs were used for cartographic schemes construction and for spatial analysis and modelling in GIS.

Findings. Kyiv potable ground water chemical composition and quality class changes investigation methodology on the basis of combined mathematical-statistical methods and geoinformatics technologies were developed. Non-parametric statistics method (Mann-Witney criterion) and Abbe criterion, used for hydrogeochemical data analysis, description and substantiation were given. Kyiv territory typification by geomorphology characteristic was done. The city zones most vulnerable to contamination were defined.

Originality. For the first time the general tendency of senoman-kelovey groundwater complex quality class worsening was revealed in Kyiv. It was determined that the changes of the city potable groundwater basic components vary and depend on exploitation intensity and hydrogeological and geomorphological structure. For the first time the territory of the city of Kyiv was divided by types according to senoman-kelovey potable ground water basic components and quality class changes: those changes tendencies were determined.

Practical value. Practical application of determined senoman-kelovey complex potable ground water chemical composition and quality class changes tendencies in Kyiv may contribute to exploitation system optimization and prevention of further ground water quality worsening. The results obtained can be used as basis for the potable ground water chemical composition monitoring system development in Kyiv. The suggested methodical approaches and techniques can be used for urban territories ground water study.

Keywords: *groundwater, water quality, chemical composition, probabilistic-statistical methods, non-parametric statistics, GIS, tendency*

Рекомендовано до публікації докт. геол.-мінер. наук М.М. Коржневим. Дата надходження рукопису 29.07.13.