

ЭКОЛОГІЯ

УДК 556. 314.

*Амджади Азиз, аспірант,
Ф.В. Чомко, доцент,
Д.Ю. Носик, зав. лаб.,*

Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина

ПРИМЕНЕНИЕ СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА КАЧЕСТВА ВОДЫ ГРУНТОВОГО ВОДОНОСНОГО ГОРИЗОНТА ХОРРАМАБАДСКОЙ И ШИРАЗСКОЙ МЕЖГОРНЫХ ВПАДИН

Долгосрочный прогноз качества воды грунтового водоносного горизонта в Хоррамабадской и Ширазской межгорных впадинах Западного Ирана является важной частью оценки эксплуатационных запасов подземных вод. Предложено такой прогноз (на 1 год и более) составлять на основе изучения закономерностей колебания качества воды в прошлом, которые в обобщенном виде отражают воздействие на режим вод основных режимообразующих факторов и взаимодействие в системе вода–порода, происходящих при движении подземных вод. В связи с этим представляется целесообразным отыскать в рядах таких колебаний закономерные (гармонические) составляющие, которые можно прогнозировать. Для составления долгосрочного прогноза предложена стохастическая модель гидрохимического процесса. Модель реализована на ПК с применением пакета математических расчетов Mathcad 2000 Professional. Долгосрочный прогноз составлялся с использованием данных изменения качества воды за последние 10 лет.

Ключевые слова: *Западный Иран, Хоррамабадская и Ширазская межгорные впадины, грунтовой водоносный горизонт, гидрохимический процесс, стохастическая модель, гармонические составляющие, долгосрочный прогноз качества воды.*

Амджади Азиз, Ф.В. Чомко, Д.Ю. Носик. ВИКОРИСТАННЯ СТОХАСТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ДОВГОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУ ЯКОСТІ ВОДИ ГРУНТОВОГО ВОДОНОСНОГО ГОРИЗОНТУ ХОРРАМАБАДСЬКОЇ І ШИРАЗЬКОЇ МІЖГІРСЬКИХ ЗАПАДИН. *Довгостроковий прогноз якості води грунтового водоносного горизонту в Хоррамабадські і Ширазькій міжгірських западинах Західного Ірану являється важливою частиною оцінки експлуатаційних запасів підземних вод. Запропоновано такий прогноз (на 1 рік і більше) складати на основі вивчення закономірностей коливання якості води в минулому, які в узагальненому вигляді відображають вплив на режим вод основних режимоутворюючих факторів і взаємодію в системі вода–порода, які проходять при русі підземних вод. В зв'язку з цим видається доцільним знайти в рядах таких коливань закономірні (гармонічні) складові, які можливо прогнозувати. Для складання довгострокового прогнозу авторами запропонована стохастична модель гідрохімічного процесу. Модель реалізована на ПК з використанням пакету математичних розрахунків Mathcad 2000 Professional. Довгостроковий прогноз складався із використанням даних зміни якості води за останні 10 років.*

Ключові слова: *Західний Іран, Хоррамабадська і Ширазька міжгірські западини, грунтовой водоносний горизонт, гідрохімічний процес, стохастична модель, гармонічні складові, довгостроковий прогноз якості води.*

Постановка проблемы.

Важным фактором, который влияет на изменение качества подземных вод грунтового водоносного горизонта является интенсивный водоотбор. Грунтовые воды Хоррамабадской и Ширазской межгорных впадин широко используются для водоснабжения населенных пунктов и промышленности, для полива сельскохозяйственных культур и других целей.

Грунтовые воды этих впадин имеют минерализацию до 1 г/дм³, гидрокарбонатные кальциево-магниевого и редко сульфатно-хлоридные кальциево-магниевого, удовлетворяют питьевым нормам. Отбор воды приводит к снижению уровней грунтовых вод, вследствие чего образуется гидродинамическая предпосылка для вертикального перетекания (сверху вниз) и поступления загрязненных поверхностных вод из рек и озер Хоррамабадской и Ширазской межгорных впадин. Например, за время эксплуатации грунтового водоносного горизонта в Хоррама-

бадской впадине (скв. Алибад, Гилуран, Чаркал, источники Сараб сага и Сашме сорхе) и в Ширазской впадине (скв. Бабаджи, Гачи, Хабир и Круни, а также источники Бармехан и Пол беренджи) наблюдается постоянное повышение основных показателей химического состава подземных вод. Величина минерализации в воде из этих скважин и источников увеличилась на 259–728 мг/дм³, жесткости – на 3,1–4,5 мг-экв/дм³, сульфатов – на 98–479 мг/дм³, кальция – на 79–188 мг/дм³, железа – на 3,5–5,4 мг/дм³ и т. д. Увеличение этих показателей связывается с растворением гипса и кальцита водовмещающих пород, а в зоне разгрузки с континентальным засолением и антропогенным загрязнением (общее загрязнение воздуха и поверхностных вод, внесение удобрений и пестицидов, влияние отходов химического производства и отливов из шахт). В грунтовых водах появились и тяжелые металлы.

В настоящее время планируется более широко использовать грунтовые воды Хоррамабадской впадины.

Анализ публикаций и определение нерешенных проблем.

Геологическое строение и гидрогеологические условия Хоррамабадской Ширазской межгорных впадин изучались иранскими фирмами: (Сангаб, 2010 г., 1980 г.); (Абкав, 1970 г.); (NKRC, 1995 г., 1997 г.); Махабкодс (1975 г.) и Параб (1993 г., 1997 г.) [2–5]. Этими фирмами были построены геологическая и гидрогеологическая карты, изучен химический состав грунтового водоносного горизонта, определены гидрогеологические параметры водоносного горизонта. Большой вклад в изучение гидрогеологических условий Хоррамабадской впадины внесла кафедра гидрогеологии МГУ.

Результаты этих исследований нашли свое отражение в публикациях таких авторов: Шестаков В. М., Джемз и Виндс, Штеклин Й., Веллз, Кент, Сетудения и Алави [1–4] и Амджади Азиза [9–11].

Но в этих работах нет сведений о каких-либо прогнозах изменения химического состава грунтовых вод.

Для прогноза качества грунтовых вод нами предлагается стохастическая модель гидрохимического процесса

Вопросу применения стохастической модели для прогнозирования изменения химического состава подземных вод посвящены работы М.Г. Серебрянникова, А.Н. Первозванского [6], Решетова И.К., Чомко Д.Ф., Чомко Р.Ф. [7,8].

Литературы по вопросу применения стохастической модели для прогнозирования химического состава подземных вод в Иране нет.

Цель исследований.

Нами сделана попытка разработать методику долгосрочного прогноза химического состава подземных вод грунтового водоносного горизонта в условиях его эксплуатации.

Долгосрочные (на один год и более) прогнозы качества подземных вод могут быть составлены на основе изучения закономерностей колебания их химического состава прошлым, которые в общем виде отражают воздействие на режим вод основных режимобразующих факторов и взаимодействие в системе вода–порода, происходящих при движении подземных вод. В связи с этим представляется целесообразным отыскать в рядах таких колебаний закономерные составляющие, которые можно прогнозировать.

Для прогноза качества подземных вод предлагается стохастическая модель гидрохимического процесса, которая может быть представ-

лена суммой нескольких гармонических составляющих, осложненной случайной компонентой:

$$X_{(t)} = A_0 + \sum_{n=1}^k A_n \cos\left(\frac{2\pi}{T_n} t - \varphi_n\right) + b_{(t)}, \quad (1)$$

где $X_{(t)}$ – ряд значений характеризующих качество воды (минерализация, химические элементы или вещества) за период наблюдения T в моменты времени t ;

A_0 – соответствующее среднее значение этого показателя за период T ;

k – число выделенных периодических составляющих;

A_n, T_n – амплитуда и периоды составляющих;

φ – начальные фазы гармоник (угловая величина, характеризующая их значения в начале наблюдений);

$b_{(t)}$ – случайный компонент.

Основной материал.

Эта модель реализована на ПК с применением пакета математических расчетов Mathcad 2000 Professional. Информация дается в виде дискретных данных гидрохимических наблюдений, например, суточные, среднемесячные или среднегодовые величины минерализации, любого химического элемента или вещества. Для этого ряда вычисляется нормированная корреляционная функция по формуле:

$$R_{(\tau)} = \frac{\sum_{t=0}^{n-\tau} [X_{(t)} - \bar{X}] * [X_{(t+\tau)} - \bar{X}]}{\sqrt{\sum_{t=0}^{n-\tau} [X_{(t)} - \bar{X}]^2 * \sum_{t=0}^{n-\tau} [X_{(t+\tau)} - \bar{X}]^2}}, \quad (2)$$

где $R_{(\tau)}$ – коэффициент корреляции при сдвиге времени, равном τ ;

$$X = \frac{1}{n} \sum_{t=0}^n X_{(t)} - \text{математическое ожидание}$$

исходного ряда;

n – число элементов ряда.

Есть две альтернативные гипотезы:

1. Исследуемый процесс является случайным (содержит только компоненту $b_{(t)}$), т. е. определяется действием разнообразных факторов, не поддающихся в настоящее время аналитическому учету, и подчиняется нормальному закону распределения. Для такого процесса характерна быстро убывающая нормированная корреляционная функция.

2. Исследуемый процесс помимо случайной компоненты содержит одну или несколько периодических составляющих. Нормированная корреляционная функция такого ряда убывает значительно медленнее, чем в первом случае, и

обязательно содержит гармонические компоненты с тем или иным временем корреляции.

В первом случае исходный ряд наблюдений не содержит закономерных составляющих, т. е. определяется случайной компонентой, во втором – в исходном ряду имеются закономерные составляющие, которые можно экстраполировать на будущее.

Выполнение второго условия позволяет преобразовать ряд с целью определения всех $3k+1$ параметров, входящих в формулу (1). Если предположить, что среднее значение случайной

компоненты $b_{(t)}=0$, т.е. $\bar{b} = \frac{1}{n} \sum_{t=0}^n b_{(t)} = 0$, ее дис-

персия равна $\sigma^2 b_t$ $\sigma^2 b_t$ и при каждом фиксированном времени t отклонение $b_{(t)}$ подчинены одному и тому же нормальному закону распределения, то величина A_0 в формуле (1) находит-

$$-\frac{1}{2} \frac{\partial E}{\partial c_1} = \sum_{t=0}^n X_{(t)}^* - d_1 \cos \frac{2\pi}{T_1} t; \quad -\frac{1}{2} \frac{\partial E}{\partial c_1} = \sum_{t=0}^n X_{(t)}^* - c_1 \cos \frac{2\pi}{T_1} t, \quad (4)$$

где: $X^* = X_t - A_0$.

Приравняв левые части легко определить c_1 и d_1 , а следовательно и A_1 и φ_1 . Определив все параметры первой периодической составляющей, ПК формирует по ним периодическую составляющую и вычитает ее из исходного ряда.

Остаток анализируется по описанному алгоритму при фиксированном определенном A_0 члене, что позволяет определить параметры следующей гармонической составляющей. Это повторяется до тех пор, пока из исходного ряда $X_{(t)}$ не будут исключены все содержащиеся в нем периодические составляющие, о чем свидетельствует определенный вид нормированной корреляционной функции, вычисляемой каждый раз по соответствующему остатку.

При фиксированном значении A_0 возможно построить периодограммы с координатами ε и T_n . На присутствие какой либо периодической составляющей указывает минимум величины ε при соответствующем T_n . При этом, чем меньше величина ε , тем больше амплитуда периоди-

$$S = \sqrt{\frac{\sum [X_{(t)} - X_t^1]^2}{n}},$$

где X_t – фактическое значение параметра характеризующего качество воды;

X_t^1 – соответствующее расчетное значение этого параметра;

ся из условия существования минимума величины ε :

$$\varepsilon = \left[X_{(t)} - A_{0n} - \sum_{n=1}^k A_n \cos \left(\frac{2\pi}{T_n} t - \varphi_n \right) \right]^2 \quad (3)$$

Если продифференцировать выражение и приравнять его к нулю при найденных параметрах A_0 и T_1 то можно составлять систему линейных уравнений для определения параметров A_1 и φ_1 .

Так используя известные тригонометрические соотношения:

$$A_1 \cos \left(\frac{2\pi}{T_1} - \varphi_1 \right) = d_1 \cos \frac{2\pi}{T_1} + c_1 \cos \frac{2\pi}{T_1};$$

$$\text{где: } A_1 = \sqrt{d_1^2 + c_1^2} \text{ и } \operatorname{tg} \varphi = \frac{c_1}{d_1},$$

для подстановки в формулу (3) и дифференцируя по c_1 и d_1 получим:

ческой составляющей. Анализ периодограммы позволяет судить о частотной структуре исследуемого гидрохимического процесса $X_{(t)}$, т. е. определить число содержащихся в нем периодических составляющих и оценить их амплитуды.

Каждая выделенная гармоника описывается аналитическим выражением вида:

$$X_{(t)} = A_0 + A_n * \cos \left(\frac{2\pi}{T_n} t - \varphi_n \right), \quad (5)$$

Подставляя в эти выражения соответствующие значения времени t , можно составить прогноз периодических составляющих. Прогноз случайной компоненты $b_{(t)}$ весьма затруднителен. Она характеризуется величиной стандартного отклонения σ_{b_t} , а соответствующие трехсигмовые пределы с вероятностью 99,9% укажут пределы изменений параметров, характеризующих качество воды.

Эффективность предлагаемой методики определяется величиной отношения S/σ , где S – стандартная ошибка проверочных прогнозов, σ – стандартная ошибка ряда наблюдений.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum [X_{(t)} - \bar{X}]^2}{n}}, \quad (6)$$

\bar{X} – среднеарифметическое ряда наблюдений;

n – число наблюдений.

Методика прогноза вважається задовільною – якщо $S/\sigma=0,4-0,8$, хорошою – якщо $S/\sigma < 0,4$.

Ця методика опробована по даним зміни мінералізації та жорсткості ґрунтових вод в Хоррамабадському басейні (скав. Аліабад, Гілуран, Чаркал, джерела Сараб сага та Сашме сорхе) та в Ширазському басейні (скав. Бабахаджі, Гачі, Хабір та Круні, а також джерела Бармехан та Пол беренджі). Для прогнозування використовувалися дані гідохімічного режиму цих скавжин та джерел з 2004 по 2014 р. (визначення проводилися 4 рази на рік).

Аналізуючи цей графік (рис. 1) прийдемо до висновку, що протягом прогнозного року мінералізація ґрунтових вод в скав. Гуліран буде продовжувати рости, а потім незначительно понизиться, залишаючись нижче 1000 мг/дм^3 , значе-

ння жорсткості ґрунтових вод буде коливатися, а потім незначительно понизиться, залишаючись біля позначки 14 мг-екв/дм^3 . Величина співвідношення S/σ дорівнює $0,4$, що свідчить про те, що прогноз хороший. Приблизно такі ж результати отримані та для скав. Аліабад та Чаркал.

Аналізуючи графік (рис. 2) прийдемо до висновку, що протягом прогнозного року значення жорсткості ґрунтових вод скав. Гачі буде коливатися, а потім незначительно понизиться, залишаючись біля позначки 14 мг-екв/дм^3 , а мінералізація ґрунтових вод буде продовжувати рости, а потім незначительно понизиться, залишаючись нижче 1000 мг/дм^3 . Величина співвідношення S/σ дорівнює $0,4$, а це також свідчить про те, що прогноз хороший.

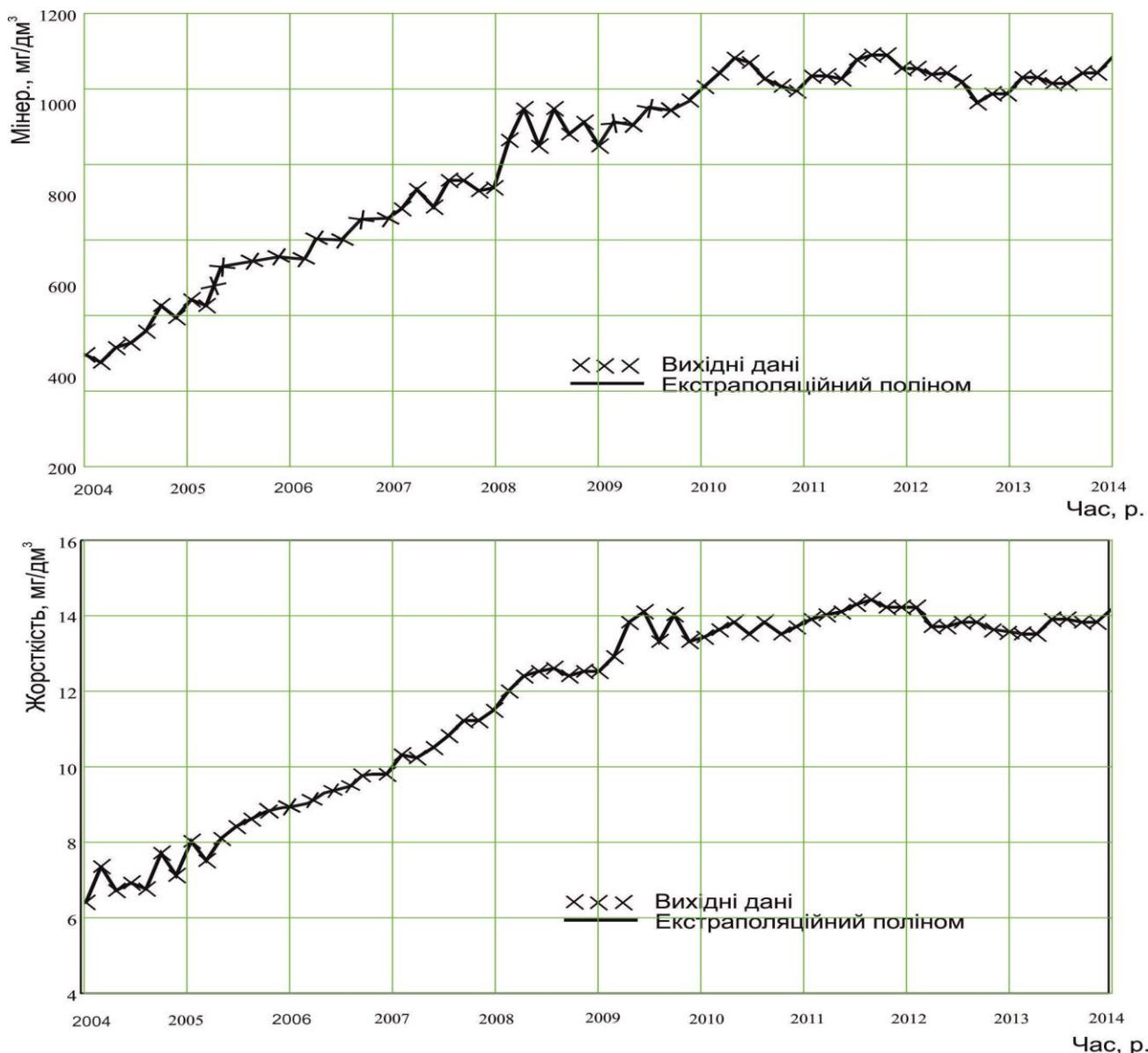


Рис. 1. Прогноз зміни мінералізації та жорсткості ґрунтових вод в Хоррамабадському басейні (скав. Гілуран)

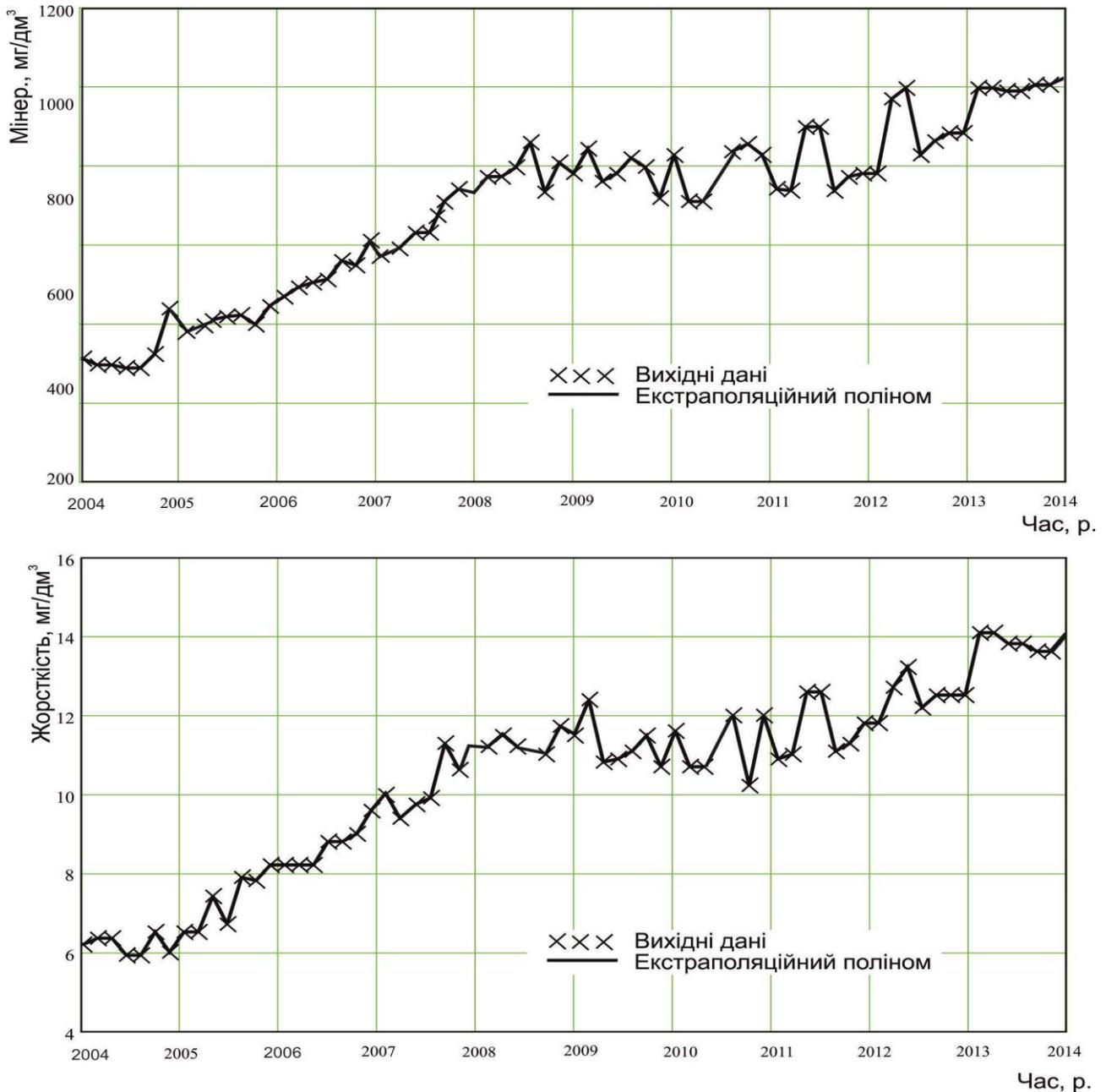


Рис. 2. Прогноз изменения минерализации и жесткости грунтовых вод в Ширазском бассейне (скв. Гачи)

Основные выводы.

Таким образом, если исходный ряд колебаний минерализации и жесткости воды раскладывается на периодические составляющие полностью или с небольшим по амплитуде остатком, то прогноз изменения качества грунтовых вод не представляет значительных трудностей.

Если же после выделения составляющих остается случайная компонента со значительной амплитудой, то можно составить прогноз об общей направленности процесса (многолетнее снижение или повышение минерализации или жесткости подземных вод).

Литература

1. Шестаков, В.М. Формирование повышенной жесткости в зоне разгрузки грунтовых вод конусов выноса в Иране [Текст] / В.М. Шестаков, Ю.М. Марин // Вестник МГУ. Сер. 4, Геология, 1996. – №4. – М.: МГУ. – С. 91-95.
2. Штейклин, Й. Тектоника Азии [Текст] / Й. Штейклин // Мат-лы Международного Геологического конгресса, 1984. – Т. 5. – М. – С. 53-68.
3. Гидрохимический отчет [Текст] / Фирма Параб. – Кучмешкиан. – М.: 1994.
4. Геологический и гидрогеологический отчеты: Ширазская впадина [Текст] / Фирма Махабкодс, 1996. – №393.

5. Геологические отчеты Ирана [Текст] / Geological survey of Iran, 1980-1987.
6. Серебрянников М.Г. Выявление скрытых периодичностей [Текст] / М.Г. Серебрянников, А.Н. Первозванский. – М.: Наука, 1965.
7. Решетов, И.К. Геолого-гидрогеологическое прогнозирование формирования пресных питьевых вод в малых артезианских бассейнах северо-западного Донбасса в условиях техногенеза [Текст] / И.К. Решетов. Автореферат докт. диссертации. – Х., 1996. – 30 с.
8. Решетов, И.К. Долгосрочный прогноз качества подземных вод мело–мергельного водоносного горизонта в процессе его эксплуатации [Текст] / И.К. Решетов, Д.Ф. Чомко, Р.Ф. Чомко // Вісник Харків. унів-ту імені В.Н. Каразіна, №402. – Х.: Основа, 1998. – С. 68-71.
9. Амджади, Азиз. Сравнительная характеристика химического состава грунтовых вод Ширазской и Хоррамабадской межгорных впадин Ирана [Текст] / Азиз Амджади // Вісник Харк. нац. ун-ту імені В.Н. Каразіна, № 1084. – Х.: ФОР «Петрова», 2013. – С. 22-31.
10. Amjadi Aziz. Case Record of Multivariate Statistical Analysis in the Groundwater (The Zagros Mountains) / Aziz Amjadi, Dmytro Fedorovich Chomko, Rahbar Elham // Journal of Applied Environmental and Biological Sciences, 2014. J. Appl. Environ. Biol., 4(2s) 107-120.
11. Амджади, Азиз. Применение кластерного анализа для выделения участков грунтовых вод со сходным химическим составом в Ширазской и Хоррамабадской межгорных впадинах Ирана [Текст] / Азиз Амджади, Д.Ф. Чомко // Вісник Київ. нац. ун-ту ім. Т. Шевченка, № 1 (64). – К.: Вид.центр Київ. нац. ун-ту, 2014. – С. 54-61.

УДК 556.388:504.064:665.71

*А.Л. Брикс, к.г.-м.н., пров. наук. співр.,
Р.Б. Гаврилюк, к.геол.н., наук. співр.,
Інститут геологічних наук Національної академії наук України*

ТРАНСФОРМАЦІЯ СКУПЧЕНЬ ЛЕГКИХ НАФТОПРОДУКТІВ, ЗАБРУДНЮЮЧИХ ГЕОЛОГІЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

Стаття присвячена вивченню закономірностей формування техногенних скупчень нафтових вуглеводнів у геологічному середовищі. При цьому розглядаються не тільки «лінзи» легкого нафтопродукту, які за своїми розмірами дійсно справляють сильне враження і привертають найбільшу увагу як джерело загрози забруднення довкілля, а також так звані «техногенні родовища». Не менш цікавими в теоретичному і практичному сенсі можуть бути скупчення вуглеводнів в ґрунтах зони аерації і нижче рівня ґрунтових вод. Не слід обмежуватися розглядом лише мобільної НП-рідини. Заслужують на увагу скупчення розчинних, сорбованих, газоподібних вуглеводнів. На основі аналізу результатів власних багаторічних пошуково-розвідувальних досліджень ділянок забруднення на території України і узагальнення відомих публікацій розроблена система поділу скупчень нафтових вуглеводнів на різновиди. Усім нафтопродуктовим осередкам притаманна здатність до трансформації ареалів розповсюдження, форм перебування, зміни якісного складу забруднювача. Прикладом систематизації усіх цих характеристик може слугувати спеціальна таблиця, наведена у статті. Ця розробка може бути використана для планування моніторингових досліджень, проектування відновлювальних заходів і створення інформаційно-експертних систем.

Ключові слова: легкі нафтопродукти, нафтові вуглеводні, геологічне середовище, гідрогеологічні умови, трансформація скупчень забруднювача.

А.Л. Брикс, Р.Б. Гаврилюк. ТРАНСФОРМАЦІЯ СКОПЛЕНІЙ ЛЕГКИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ, ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ СРЕДУ. Статья посвящена изучению закономерностей формирования техногенных скоплений нефтяных углеводородов в геологической среде. При этом рассматриваются не только «линзы» легкого нефтепродукта, которые из-за своих размеров, действительно, оказывают сильное впечатление и обращают наибольшее внимание как источник угрозы загрязнения окружающей среды, а также как «техногенные месторождения». Не менее интересными в теоретическом и практическом смысле могут быть скопления углеводородов в грунтах зоны аэрации и ниже уровня грунтовых вод. Не следует ограничиваться рассмотрением лишь мобильной НП-жидкости. Заслуживают внимания скопления растворенных, сорбированных, газообразных углеводородов.

На основе анализа результатов собственных многолетних поисково-разведочных исследований участков загрязнения на территории Украины и обобщения известных публикаций разработана система деления скоплений нефтяных углеводородов на разновидности. Всем нефтепродуктовым скоплениям присуща способность к трансформации ареалов распространения, форм существования, изменению качественного состава загрязнителя. Примером систематизации всех этих характеристик может служить специальная таблица, приведенная в статье. Данная разработка может быть использована для планирования мониторинговых исследований, проектирования восстановительных мероприятий и создания информационно-экспертных систем.

Ключевые слова: легкие нефтепродукты, нефтяные углеводороды, геологическая среда, гидрогеологические условия, трансформация скоплений загрязнителя.

Актуальність досліджень та постановка проблеми. Розповсюдження в природному до-
вкіллі, зокрема геологічному середовищі (ГС),
втрачених з поверхневих об'єктів нафти і наф-
топродуктів вже кілька десятиріч вважається

проблемою глобального масштабу. Одночасно
із посиленням прагматичного вектору у
розв'язанні цієї проблеми відбувається розши-
рення наукових досліджень [4,6,7]. В наш час
назріла необхідність узагальнення результатів