

«GORNYI ZHURNAL», 2020, № 12, pp. 87–91
DOI: 10.17580/gzh.2020.12.20

Features of monitoring industrial injuries in Russia and in the countries of the European Union

Information about authors

I. P. Karnachev¹, Professor, Doctor of Engineering Sciences, igorKarnachev@yandex.ru

V. G. Nikolaev¹, Associate Professor, Candidate of Physical and Mathematical Sciences

N. K. Smirnova², Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

P. I. Karnachev³, Labor Protection Engineer

¹Division of the Murmansk Arctic State University in Apatity, Apatity, Russia

²Kurgan State University, Kurgan, Russia

³Division of the Murmansk Arctic State University in Kirovsk, Kirovsk, Russia

Abstract

The statistical reporting system in the Russian Federation, based on the forms and indicators approved by the Federal State Statistics Service, allows monitoring current situation and dynamics of changes in occupational safety and working conditions of employees per industries and types of economic activity of production plants. At the same time, the Russian system of monitoring labor safety protection is ineffective for research, analysis, control, transmission, dissemination and use of information about the causes, circumstances and consequences of occupational injuries on the scale of a plant and a workplace.

The comparison of the analysis results in the countries of the European Union and in the Russian Federation shows that focusing on reducing the number of industrial accidents by collecting detailed information allows using this information to identify the main health problems at production sites, as well as developing corrective long-term prevention programs for injuries and diseases. This should be preceded by the theoretical analysis, including development and justification of the structure of the monitoring system, as well as its strategies, goals and objectives that must be solved during implementation.

Keywords: mining industry, occupational risk, occupation safety, monitoring, injury rate, prevention.

References

1. Safety and Health at the Heart of the Future of Work: Building on 100 years of experience. International Labour Organization, 2019. Available at: https://www.ilo.org/safework/events/safeday/WCMS_686645/lang-en/index.htm (accessed: 15.06.2020).
2. Levashov S. P. Methodological principles for the analysis of safety of vital activity. *Vestnik Kurganskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Tekhnicheskie nauki*. 2005. No. 2. pp. 214–220.
3. Karnachev i. P., Levashov S. P., Nikolaev V. G., Karnachev P. i. Problems of reliability and quality of occupational traumatism statistics in industrial complex of the Russian Federation. *Izvestiya Tulskogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*. 2019. No. 1. pp. 110–124.
4. Levashov S. P. Analyzing and developing criteria for assessing occupational traumatism risks basing on “best practice code”. *Analiz riska zdorovyu*. 2017. No. 2. pp. 37–46.
5. Moura R., Beer M., Patelli E., Lewis J., Knoll F. Learning from major accidents to improve system design. *Safety Science*. 2016. Vol. 84. pp. 37–45.
6. Loud J. Major risk: Moving from symptoms to systems thinking. *Professional Safety*. 2016. Vol. 61, iss. 10. pp. 50–56.
7. Kachurin N. M., Efimov V. i., Koklyanov E. B., Karnachev i. P., Nikanov A. N. injuries and occupational morbidity in underground mining. Tula : izdatelstvo TulGU, 2012. 378 p.
8. Wassenberg M., Brandenburger T. Experience of ThyssenKrupp Steel Europe in the field of production safety. *Chernye Metally*. 2016. No. 4. pp. 78–80.
9. Karnachev i. P., Levashov S. P., Shkrabak R. V., Cheltybashev A. A. Concept of occupational safety and health management in the Russian industry. *Gornyi Zhurnal*. 2018. No. 4. pp. 87–92. DOI: 10.17580/gzh.2018.04.16
10. Elimination of the accidents in production as the main goal. *Chernye Metally*. 2016. No. 11. pp. 64–67.
11. European Statistics on Accidents at Work (ESAW). Summary methodology. 2013 edition. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2013. 59 p.
12. Accidents at work statistics. Eurostat, 2017. Available at: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Accidents_at_work_statistics (accessed: 15.06.2020).
13. Jazayeri E., Dadi G. B. Construction Safety Management Systems and Methods of Safety Performance Measurement: A Review. *Journal of Safety Engineering*. 2017. Vol. 6, No. 2. pp. 15–28.
14. Huang Liu, Jazayeri E., Dadi G. B. Establishing the influence of Owner Practices on Construction Safety in an Operational Excellence Model. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2017. Vol. 143, iss. 6. 04017005.

УДК 626.811:556.3

ОПТИМИЗАЦИЯ СЕТИ МОНИТОРИНГА ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ МАССОПЕРЕНОСА

Н. Б. АГАРКОВ, аспирант, nikolayagarkov@yandex.ru

В. В. ХАУСТОВ, проф., д-р геол.-минерал. наук

А. М. МАЛИКОВ, аспирант

Н. Г. КАРПЕНКО, аспирант

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

Введение

Целью объектного мониторинга подземных и поверхностных вод при отработке месторождения является изучение элементов режима и оценка качественного состояния подземных и поверхностных вод под влиянием техногенных нагрузок, а также прогнозирование степени изменения геологической среды и разработка рекомендаций по локализации или профилактике последствий техногенеза горнопромышленного профиля [1, 2].

Частота замеров уровней подземных вод определяется скоростью их техногенного преобразования и целевым назначением наблюдений. В целом замеры уровней по скважинам необходимо проводить не реже 1–3 раз в месяц. В период снеготаяния,

Описан методический подход к обоснованию сети мониторинга подземных вод при помощи математического моделирования и современных вычислительных средств. Для этого проанализирована существующая сеть мониторинга и разработана численная модель массопереноса основных загрязняющих компонентов в подземных водах. Разработанная схема позволяет создать режимную наблюдательную сеть для прогнозирования изменения состояния подземных вод под влиянием системы осушения карьера и других антропогенных и природных факторов.

Ключевые слова: подземные воды, мониторинг, численное моделирование, уровнеметрия, минерализация, наблюдательная скважина, миграционная модель.

DOI: 10.17580/gzh.2020.12.21

паводков, интенсивных дождей и резких изменений производительности дренажной системы замеры выполняют через 3–5 дней. Для уточнения схемы размещения сети наблюдательных скважин на современном этапе требуется построение математической модели массопереноса подземных вод [3–5].

Методика и результаты исследования

В рассматриваемой системе мониторинга подземных вод находятся 49 наблюдательных скважин, фиксирующих гидродинамический режим подземных вод. Пробы на химический анализ подземных вод отбирают в скважинах при проведении откачек и после их чистки. Схема расположения скважин показана на **рис. 1**.

Границы области моделирования определены в соответствии с конфигурацией контура водосборной площади вокруг действующего карьера, его проектного углубления и расширения, а также с учетом наличия техногенных и природных объектов и источников, оказывающих воздействие на формирование режима подземных вод [6, 7]. Общая площадь модели составляет 130 км².

Модель в вертикальном разрезе включает поле фильтрации до абс. отм. –800 м. Расчетная схема представлена семью расчетными слоями, сверху вниз:

1-й слой – техногенный водоносный горизонт (tQ_{IV});

2-й слой – четвертичный водоносный горизонт (dQ_{IV} , Q_{IIIos} , bQ_{IV} , gQ_{IIIos});

3-й – водоносный и слабоводоносный палеоген-неогеновый горизонт коры выветривания (P-N);

4-й слой – водоносный комплекс зоны дезинтеграции и интенсивной трещиноватости кристаллических пород (AR-PZ);

5-й слой – водоносный комплекс зоны трещиноватости кристаллических пород (AR-PZ);

6-й слой – слабоводоносный комплекс зоны замедленного водообмена кристаллических пород до абс. отм. –350 м (AR-PZ);

7-й слой – слабоводоносный комплекс зоны замедленного водообмена кристаллических пород до абс. отм. –800 м (AR-PZ).

Миграционную модель района создают на основе программы МТЗД, позволяющей моделировать процессы массопереноса в потоке подземных вод в трехмерном пространстве. Программа МТЗД имеет модульную структуру, подобную структуре Modflow, и состоит из основной программы и большого числа независимых подпрограмм (пакетов). Каждый из пакетов позволяет учесть один из аспектов моделирования миграции (конвективный перенос, дисперсию, смешивание, молекулярную диффузию и т. д.). МТЗД используют совместно с Modflow. Напоры и составляющие перетока от ячейки к ячейке, вычисленные в процессе моделирования фильтрации, записывают в файл специального формата и затем используют в МТЗД для моделирования массопереноса [8–14].

Задачи миграции загрязняющих веществ в подземных водах решают в следующей постановке.

Скорость фильтрации определяют по формуле Дарси:

$$v_f = K_f \frac{\partial H}{\partial l}, l = x, y,$$

где K_f – коэффициент фильтрации; H – потеря напора.

Линии тока строят как траектории движения «меченых» частиц:

$$\frac{dx}{dt} = v_x/n_0; \frac{dy}{dt} = v_y/n_0; \frac{dz}{dt} = v_z/n_0,$$

где x, y – координаты «меченой» частицы; t – время; n_0 – активная пористость (трещиноватость) пород; v_x, v_y, v_z – скорости фильтрации.

Контур поршневого вытеснения и области захвата отстраивают по линиям тока, на которых определяют точки с одинаковым временем их продвижения от источника загрязнения.

Учет сорбционных процессов по кинетике Генри выполняют на основе аналитического решения одномерной задачи миграции вдоль линии тока:

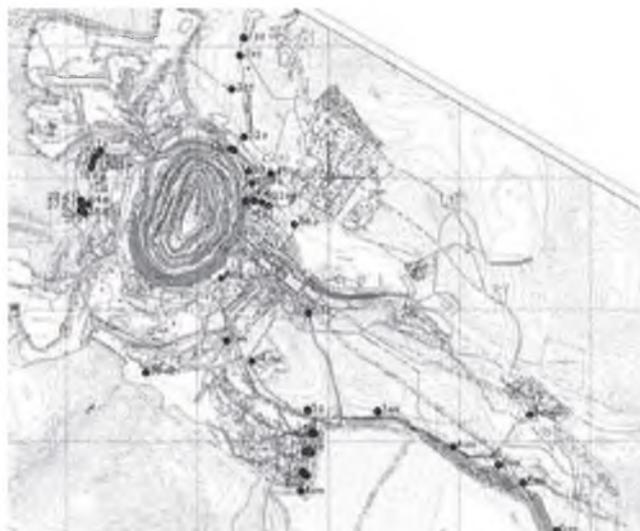


Рис. 1. Схема расположения наблюдательных скважин

$v_f \frac{\partial C}{\partial l} + n_0 \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial N}{\partial t} = 0, \frac{\partial N}{\partial t} = \alpha(C - \beta N),$
где C, N – концентрация вещества в жидкой и твердой фазах; v_f – скорость фильтрации вдоль линии тока; α и β – параметры сорбции.

Решение этой задачи при условии: $C|_{l=0} = C_0; C|_{t=0} = N|_{t=0} = 0$ имеет вид: $C = C_0 J(\eta, \tau)$, где $J(\eta, \tau) = 1 - e^{-\tau} \int_0^\eta [e^{-\lambda} I_0(2\sqrt{\lambda\tau})] d\lambda$, $\eta = \alpha l/v_f$; $\tau = \alpha \beta (t - n_0 l/v_f)$, где I_0 – функция Бесселя; t – время; v – скорость фильтрации.

Для оценки перемещения загрязняющего вещества из одного положения в другое в МТЗД предлагаются две численные схемы: алгоритм Эйлера первого порядка и алгоритм Рунге – Кутты четвертого порядка.

Алгоритм Эйлера первого порядка используют для определения перемещения частиц в областях относительно однородной скорости. Алгоритм Рунге – Кутты четвертого порядка более точен, допускает использование больших шагов переноса, его применяют вблизи источников и стоков. Этот алгоритм принят в данной задаче для повышения точности определения перемещения частиц [15–19].

В модели массопереноса реализованы следующие пакеты:

- AdvectionPackage (конвективный перенос);
- DispersionPackage (дисперсия, молекулярная диффузия);
- Source/SinkMixingPackage (смешивание на источниках/стоках).

Значения параметров дисперсии, молекулярной диффузии, отношение параметров продольной и поперечной дисперсии принимают по рекомендации В. Г. Румынина [15].

Рассмотрен наихудший вариант загрязнения подземных вод, когда не учитываются сорбционные характеристики пород.

В качестве индикатора загрязнения приняты:

- общая минерализация подземных вод;
- содержание иона SO_4^{2-} в подземных водах.

Эти два компонента имеют четко выраженные площадные источники распространения, хорошо оконтуриваются в общем поле фоновой (природной) и техногенной (измененной) гидрохимической обстановки и представлены по результатам всех химических анализов максимально полно на территории модельной области.



Рис. 2. Прогнозная схема содержания сульфатов в подземных водах осташковского водно-ледникового горизонта

Другие компоненты химического состава подземных вод, которые могли бы служить объектом для отслеживания движения в подземных водах, по большей мере (Sr , NO_2^-) или всегда (Mo , Mn ,) превышают ПДК, однако на площади мониторинга образуют «смазанные», бессистемные, иногда не привязанные к техногенным объектам ареалы распространения, что в силу ограниченности точек опробования не дает возможности четко очертить их источники и установить концентрацию в общем поле распространения.

Для решения уравнения массопереноса задают координаты источников загрязнения, начальные и граничные условия.

Моделирование массопереноса в потоке подземных вод осуществляли в нестационарных условиях. Его периоды соответствовали периодам моделирования при решении фильтрационных задач.

Для расчетов массопереноса использованы послойные средние значения общей минерализации и концентрации иона SO_4^{2-} в подземных водах с воспроизводством принципиальных условий их формирования на конкретных участках. В **таблице** приведены значения минерализации подземных вод, концентрации иона SO_4^{2-} в подземных водах и послойная пористость породного массива, принятая для расчетов.

Используемые параметры расчетных слоев

Номер слоя	Название исследуемого объекта	Минерализация, мг/л	Концентрация иона SO_4^{2-} , мг/л	Пористость, %
1	Техногенный водоносный горизонт отвалов	500–1100	100–700	25–30
	Техногенный водоносный горизонт тела хвостохранилища	200–650	60–200	40–42
2	Водоносный осташковский водно-ледниковый горизонт	50–1100	5–700	39–41
3	Водоносный и слабоводоносный горизонты коры выветривания	300–400	100–250	40–50
<i>Слабоводоносный локально-водоносный архей-палеозойский комплекс кристаллических пород</i>				
4	Зона дезинтеграции и интенсивной трещиноватости	50–1100	5–700	10
5	Зона трещиноватости:	100	10–25	3
6	до абс. отм. –350 м	150	30	2
7	до абс. отм. –800 м	200	40	1

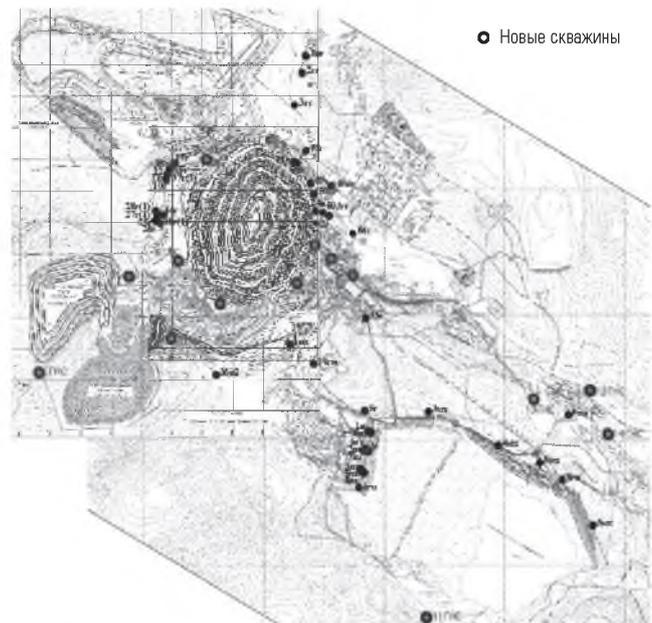


Рис. 3. Рекомендуемая схема расположения наблюдательных скважин

Пористость для расчетных слоев принята от 1 % в слабоводоносном, локально-водоносном архей-палеозойском комплексе кристаллических пород ниже абс. отм. –350 м до 40–42 % для водоносного современного техногенного горизонта хвостохранилища. Пространственное распределение степени минерализации и концентраций иона SO_4^{2-} в подземных водах (слои 1–4) приняты по результатам химических анализов в точках мониторинга за период с 1999 по 2017 г.

В водоносном комплексе кристаллических пород (слои 4–7) отражена нормальная вертикальная зональность, выраженная в увеличении минерализации (от 50 до 200 мг/л) и содержания сульфат-иона от 5 до 40 мг/л с глубиной. Линейные и площадные водные объекты реализованы через граничные условия. Значения минерализации и концентрации иона SO_4^{2-} в поверхностных водах заданы согласно химическому составу поверхностных вод в пунктах режимной наблюдательной сети.

Минерализация и концентрация иона SO_4^{2-} в атмосферных осадках для севера европейской части России составляют 10–40 и 4–6 мг/л соответственно. Для расчетов принято, что минерализация атмосферных осадков составляет 30 мг/л, концентрация иона SO_4^{2-} – 5 мг/л.

Прогнозное изменение содержания сульфат-иона в подземных водах связано с увеличением площадей и объемов отвалов, отработкой месторождения. На **рис. 2** показано прогнозное содержание сульфат-иона в водоносном осташковском водоносном горизонте.

По результатам решения «обратной задачи» получены адекватные характеристики реального поля распределения степени минерализации подземных вод в водоносных горизонтах, что подтверждается данными опробования подземных вод. В результате моделирования получены схожие картины распределения минерализации в верхних водоносных горизонтах, что подтверждает прямую гидравлическую связь между ними и существование единого безнапорного водоносного комплекса подземных вод.

Для оптимизации контроля гидродинамического режима и возможного изменения химического состава подземных вод с учетом проектных решений по развитию горнопромышленных объектов на исследуемой территории и результатов выполненных расчетов рекомендуется существующую сеть мониторинга дополнить 14 новыми скважинами (ГНС). На **рис. 3** приведена рекомендуемая схема расположения наблюдательных скважин.

При этом скважины рекомендуется заложить не только в зоне воздействия объектов рассматриваемого ГОКа на формирование

качественного состава подземных вод и в пределах депрессионной воронки карьеров, но и за пределами их влияния.

Выводы

Таким образом, разработанная на основе численного моделирования система мониторинга подземных вод позволяет создать эффективную режимную наблюдательную сеть скважин. Результаты мониторинга необходимы для прогнозирования изменения состояния подземных вод под влиянием водоотбора дренажной системой карьера и других антропогенных и природных факторов. Иными словами, информация, полученная по результатам ведения мониторинга, будет более качественная и позволит предприятию точнее определить степень влияния горных работ на изменение состояния подземных вод. Своевременный адекватный прогноз позволит оперативно реагировать на вероятные изменения состояния подземных вод и корректировать режим эксплуатации различных горнопромышленных объектов, а также оптимизировать затраты на сооружение новых скважин при развитии наблюдательной сети на исследуемой территории.

Библиографический список

См. англ. блок. **✉**

«GORNYI ZHURNAL», 2020, № 12, pp. 91–94
DOI: 10.17580/gzh.2020.12.21

Optimization of groundwater monitoring network in terms of mass transfer modeling

Information about authors

N. B. Agarkov¹, Post-Graduate Student, nikolayagarkov@yandex.ru

V. V. Khaustov¹, Professor, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences

A. M. Malikov¹, Post-Graduate Student

N. G. Karpenko¹, Post-Graduate Student

¹Belgorod State University, Belgorod, Russia

Abstract

In accordance with the 'Requirements for Monitoring Solid Mineral Deposits', groundwater monitoring is carried out in the area of the actual mineral deposit and man-made mining facilities, as well as in the zone of significant influence of the field development and other production activities of mining, which affect the subsoil and other components of the natural environment. The development of an underground water monitoring network using mathematical modeling is shown, the existing monitoring network is analyzed, the model of mass transfer of the main pollutant of underground water is developed, and the predictive calculations of mass transfer are performed. The migration model of the test area was created using MT3D program, which allows 3D modeling of mass processes in the flow of underground water. The boundaries of the model area are determined subject to the outline of the catchment area around the quarry, the project increase in depth and the project cut-back in the quarry, as well as to the presence of natural and man-made sources and facilities which can have influence on groundwater regime. The monitoring system allows regular-based observations toward prediction of changes in the condition of underground waters under the influence of the large-scale water withdrawal and other induced and natural factors. The introduction of such monitoring system can enable prevention of prevention of likely changes in the condition of groundwater and proper adjustment of drainage system operation. The numerical modeling data made it possible to optimize the cost of additional inspection well drilling.

Keywords: groundwater, monitoring, modeling, level gauging, mineralization, inspection well, migration model.

References

- Agarkov N. B., Eremita V. G., Malikov A. M., Shkonda V. N. Scientific-and-technological research and designing of dehydrating systems. *Gornyi Zhurnal*. 2019. No. 10. pp. 22–24.
- Voronin A. A., Volkov Yu. I., Zhdanova T. V., Vershinina O. O. Development and justification of modern methods to protect mine opening from groundwater. *Gornyi Zhurnal*. 2019. No. 10. pp. 18–21.
- instructional guidelines on arrangement and implementation of groundwater monitoring in shallow clustered water intakes and single producing wells. Moscow : Geoinformark, 2000. 28 p.
- Standards for monitoring solid mineral deposits. Moscow : MPR Rossii, 2000. 30 p.

- ivanova D. A., Maslennikova N. S. Ecological groundwater monitoring. *Basic and Applied Research in Engineering under Transition to Import Substitution : Problems and Solutions. Proceedings of All-Russian Conference with International Participation*. Ufa : Ufimskiy gosudarstvennyy neftyanoy tekhnicheskii universitet, 2015. Vol. 1. pp. 361–363.
- Kostenko V. D., Khaustov V. V., Lushnikov E. A. On the use of mathematical models in geological and hydrogeological investigations. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Tekhnika i tekhnologii*. 2012. No. 1. pp. 81–92.
- Kostenko V. D., Kostenko I. E., Khaustov V. V., Dubyaga A. P. On the dynamic mathematical model aquifer means of modern information technology. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. 2012. No. 6(45). pp. 281–286.
- Closas A., Villholth K. G. Groundwater governance: Addressing core concepts and challenges. *WIREs Water*. 2020. Vol. 7, No. 1. DOI: 10.1002/wat2.1392
- Jay Krishna Takur. Hydrogeological modeling for improving groundwater monitoring network and strategies. *Applied Water Science*. 2017. Vol. 7, iss. 6. pp. 3223–3240.
- Holzbecher E. *Environmental Modeling: Using MATLAB*. 2nd ed. Heidelberg : Springer, 2012. 410 p.
- Surinaidu L., Gurunadha Rao V. V. S., Srinivasa Rao N., Srinu S. Hydrogeological and groundwater modeling studies to estimate the groundwater inflows into the coal Mines at different mine development stages using MODFLOW, Andhra Pradesh, India. *Water Resources and Industry*. 2014. Vol. 7-8. pp. 49–65.
- Davybida L., Kasijanchuk D., Shtohryn L., Kuzmenko E., Tymkiv M. Hydrogeological Conditions and Natural Factors Forming the Regime of Groundwater Levels in the ivano-Frankivsk Region (Ukraine). *Journal of Ecological Engineering*. 2018. Vol. 19, iss. 6. pp. 34–44.
- Dang T., Vung Pham, Huyen N. Nguyen, Ngan V. T. Nguyen. AgasedViz: visualizing groundwater availability of Ogallala Aquifer, USA. *Environmental Earth Sciences*. 2020. Vol. 79, iss. 5. 110. DOI: 10.1007/s12665-020-8851-6
- Agarkov N. B., Ryazhskikh M. V. Modeling geopercolation processes in the Gubin–Stoilensky mining region to predict the effect of drainage activities on the ground water dynamics. *Mineral Mining and Underground Construction in Difficult Hydrogeological Conditions : XIV International Symposium Proceedings*. Belgorod, 2019. pp. 35–43.
- Rumynin V. G. *Geomigration models in hydrogeology*. Saint-Petersburg : Nauka, 2011. 1157 p.
- Kinzelbach W. *Groundwater Modelling: An introduction with Sample Programs in BASIC*. Ser. Developments in Water Science. Amsterdam : Elsevier, 1986. Vol. 25. 332 p.
- Lomakin E. A., Mironenko V. A., Shestakov V. M. Numerical modeling of geopercolation. Moscow : Nedra, 1988. 227 p.
- Lukner L., Shestakov V. M. *Modeling geopercolation*. Moscow : Nedra, 1976. 407 p.
- Malkov A. V., Pomelyayko I. S., Dubogrey V. F., Khmel V. V. Application of the mathematical modeling of the processes of geofiltration and geomigration at the deposits of mineral waters of IV group of complexity (Kislovodsk deposits of mineral waters). *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka*. 2016. No. 1. pp. 92–98.