

грунт плит излучателей на точке возбуждения относительно плоскости рельефа местности весьма различны. Например, плита одного излучателя находится выше относительно плиты другого излучателя на 0,2 м. Средняя скорость распространения продольной волны в верхних слоях и песков, и супесей, и суглинков не превышает 200 м/с [1]. Указанные выше 0,2 м будут пройдены волной за 1 мс. Таким образом, при абсолютной синхронной работе этих излучателей реализуется эффект несинхронного удара в пределах этой миллисекунды. В этой связи требования микросекундных уровней синхронности импульсных источников не обоснованы.

Выводы

1. Используемая система оценки стабильности времени срабатывания для источников с большим усилием удара вследствие возрастающего влияния жёсткости грунта не отражает истинную величину времени срабатывания.
2. Невысокая синхронность работы излучателей в группе снижает сейсмический эффект. Однако синхронность в пределах ± 1 мс практически не влияет на достигаемый эффект.
3. Требования микросекундных уровней синхронности импульсных источников не обоснованы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алешин А.С., Пиоро Е.В. О влиянии обводненности грунтов на результаты сейсмического микрорайонирования // Инженерные изыскания. 2015. № 4. С. 34–40.
2. Гафаров Р.М., Сираев И.А., Экомасов С.П., Барбieri П. Гидропневматический источник (ГПИ-2) — новый поверхностный источник возбуждения сейсмических колебаний // Геофизика. 2017. № 3. С. 14–23.
3. Фонберштейн Е.Г., Экомасов С.П. Импульсные газодинамические машины для горных и геологоразведочных работ. М.: Недра, 1994, 224 с.
4. Экомасов С.П. Аналитическое определение параметров гидропневматического источника сейсмических волн // Известия вузов. Геология и разведка. 2016. № 5. С. 41–44.

REFERENCES

1. Alyoshin A.S., Pioro E.V. About influence of water content of soil on results of seismic microdivision into districts. *Engineering researches*, 2015, no. 4, pp. 34–40.
2. Gafarov R.M., Sirayev I.A., Komarov S.P., Barbiyeri P. A hydro-pneumatic source (GPI-2) — a new superficial source of initiation of seismic fluctuations. *Geophysics*, 2017, no. 3, pp. 14–23.
3. Fonberstein E.G., Ekomasov S.P. *Pulse gasdynamic cars for mining and exploration works*. M., Nedra Publ., 1994, 224 p.
4. Komarov S.P. Analytical determination of parameters of a hydropneumatic source of seismic waves. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka* — [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration], 2016, no. 5, pp. 41–44.

УДК 556.3.06

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ (ИЗУЧЕНИЕ, АНАЛИЗ, ПРОГНОЗ, УПРАВЛЕНИЕ)

В.Ю. АБРАМОВ, Б.В. БОРЕВСКИЙ, Г.Е. ЕРШОВ

Гидрогеологическая и геоэкологическая компания «ГИДЭК»
10а, 15я Парковая ул., г. Москва 105203, Россия
e-mail: info@hydec.ru

Рассмотрены гидрогеологические, геоэкологические и экономические риски, связанные с неподтверждением прогнозных расчётов расходов, уровней и качества подземных вод при оценке их запасов. Повышение достоверности прогнозов изменения качества питьевых подземных вод и соответствующее снижение рисков, связанных с их неподтверждением, может быть достигнуто путём проведения комплекса специальных гидрогеохимических, в том числе изотопных, исследований эксплуатируемых месторождений. На базе таких исследований возможно сопоставление данных прогнозных расчётов по результатам разведки и реально наблюдаемых при эксплуатации показателей качества подземных вод и усовершенствованы теоретические и методические основы изучения недр и прогнозирования.

К л ю ч е в ы е с л о в а: риски; запасы; качество; подземные воды; прогноз.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-1-79-84

HYDROGEOLOGICAL AND GEOECOLOGICAL RISKS WHILE FORECASTING THE QUALITY OF UNDERGROUND DRINKING WATER DURING ITS USE (STUDY, ANALYSIS, FORECASTING, MANAGEMENT)

V.YU. ABRAMOV, B.V. BOREVSKY, G.E. ERSHOV

*Hydrogeological and geoecological Company «Hydec»
10a, 15th Parkovaya st., Moscow 105203, Russia
e-mail: info@hydec.ru*

The hydrogeological, geoecological and economical risks connected with the non-confirmation of groundwater discharge, levels and quality forecast calculations while the evaluation of the reserves, have been considered. Improving the reliability of the forecasts of the potable groundwater quality changes and the corresponding reduction in the risks associated with their non-confirmation, can be achieved by carrying out the special hydrogeochemical researches of operated deposits, including isotope researches. On the basis of such studies, a comparison of prediction calculations on the observed data of the results of the exploration and actually observed indicators of the quality of groundwater can be made, and the theoretical and methodical bases of subsoil study and forecasting can be performed.

K e y w o r d s: risks; groundwater discharge; quality; forecast calculations.

Сложность гидрогеоэкологических и гидрогеологических условий эксплуатации и детальность изученности месторождений питьевых подземных вод определяют достоверность прогнозных расчётов расходов, уровней и качества подземных вод. Геоэкологические и экономические риски, связанные с неподтверждением прогнозных расчётов, обычно при оценке запасов подземных вод не рассматриваются.

Теория, методика и практика гидрогеологических количественных расчётов запасов подземных вод достаточно хорошо разработаны и их достоверность, как правило, подтверждается результатами мониторинга подземных вод при эксплуатации.

Достоверность прогнозов изменения качества подземных вод при эксплуатации значительно ниже. На практике все чаще приходится сталкиваться со случаями ухудшения качества подземных вод и неподтверждения достаточно благополучных прогнозных расчётов, выполненных при проведении поисково-оценочных работ. Между тем экономические и геоэкологические риски, связанные с неподтверждением прогнозов сохранения кондиционного качества воды, наиболее высоки. Они приводят к подаче населению некондиционных подземных вод, либо существенным дополнительным затратам на водоподготовку, не предусмотренным при проектировании и строительстве водозаборов или к неоправданным излишним капиталовложениям.

Низкая достоверность прогнозирования изменения качества питьевых подземных вод связана с недостаточной разработанностью как теории миграции в условиях взаимодействия вещества в системе вода—порода, без учёта форм миграции различных нормируемых компонентов, так и методики изучения и обоснования необходимых расчётных параметров и других исходных данных, характеризующих качество подземных вод и возможные его изменения [1].

Повышение достоверности прогнозов изменения качества подземных вод и соответствующее снижение рисков, связанных с неподтверждением, может быть достигнуто при проведении комплекса специальных гидрогеохимических, в том числе изотопных, исследований эксплуатируемых месторождений. На базе таких исследований возможно сопоставление данных прогнозных расчётов по результатам разведки и реально наблюдаемых при эксплуатации показателей качества подземных вод и усовершенствованы теоретические и методические основы изучения недр и прогнозирования [1, 4].

Повышение надёжности и достоверности прогнозов не только снизит риски, связанные с неподтверждением прогнозов, но и откроет возможности управления формированием качеством питьевых подземных вод при эксплуатации с помощью применения различных режимов и технологических схем отбора воды.

Рассмотрим последовательно обозначенные проблемы:

изучение качества подземных вод и комплекса факторов, обуславливающих его фоновое и современное состояние и возможные изменения при эксплуатации;

анализ генезиса состава подземных вод, условий взаимодействия в системе вода—порода, трансформации состава поверхностных вод при их фильтрации к водозаборным скважинам, изменения физико-химической обстановки в эксплуатируемых водоносных горизонтах в результате формирования депрессионных воронок, возможности и роли сорбции и десорбции, биодеградаций, радиоактивного распада, микродисперсии и других факторов обуславливающих возможное изменение химического состава подземных вод [1, 2];

достоверность и надёжность прогнозирования изменения качества подземных вод при эксплуатации зависит от комплексности изучения качества подземных вод, химического, минерального и литологического состава водовмещающих пород (в том числе, наличия в

них органических и других примесей) и их физико-химических свойств, а также выявленных физико-химических факторов, определяющих возможные изменения их качества при водоотборе для выбора методики прогнозирования и соответствующих технологий его реализации [1];

управление формированием качества подземных вод при эксплуатации с помощью соответствующих технических и технологических решений для его реализации может быть эффективным, если мониторинг состояния подземных вод подтверждает достоверность выполненных прогнозов и достаточность принятых технических и технологических решений для поддержания качества подземных вод в нормируемом состоянии.

Изучение качества подземных вод и основных факторов его формирования является базой получения комплекса необходимой исходной информации для анализа генезиса фоновых, естественного и современного состояния подземных вод, выявления основных факторов, определяющих такое состояние и его возможных изменений [1, 3].

Анализ информации, полученной при ранее выполненных исследованиях, в процессе поисково-разведочных работ и эксплуатации водозаборов позволяет наметить задачи, методику и технологию дальнейших исследований, получения исходных данных для повышения достоверности прогнозирования.

В состав исследований для прогноза изменения качества подземных вод должны входить как химико-аналитические работы по изучению качества подземных вод, так и изучения состава и свойств водовмещающих пород и их условий взаимодействия с подземными водами. Вместе с тем, как правило, даже к изучению физико-химических показателей качества подземных вод подходят формально, только с точки зрения сопоставления нормируемых и определяемых валовых показателей, что приводит к неверной трактовке получаемых результатов.

Для минимизации рисков, связанных с изучением качества подземных вод, при прогнозе их качества необходимо определять формы миграции нормируемых компонентов в подземных водах путем подготовки проб, например, ультрафильтрацией и последующего химического анализа воды. В питьевых подземных водах химические вещества находятся в трёх миграционных формах: 1) ионной; 2) коллоидной; 3) взвешенной (коагулянтной коллоидов). Две последние миграционные формы не характеризуют ионный химический состав воды, так как являются твёрдой фазой, но определяются в составе «валового» показателя.

Нормативными документами, регламентирующими качество воды у потребителя (СанПиН 2.1.4.1074-01¹) и в источнике водоснабжения (ГН 2.1.5.1315-03²) норми-

руются только истинно растворённые (ионные) в воде формы миграции химических элементов, а не валовые показатели качества, фигурирующие в протоколах химического анализа воды. В соответствии с ГОСТ 31861-2012³, растворённый химический элемент — это определяемый показатель, проходящий через фильтр с размером пор 0,45 мкм, поэтому перед производством анализа, вода должна быть профильтрована.

Для таких нормируемых СанПиН 2.1.4.1074-01 неорганических ионов с регламентированной степенью окисления, как катионы жесткости ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$), Ba^{2+} , Sr^{2+} , Al^{3+} , Be^{2+} , Zn^{2+} , F^- и другие, а также катионы и анионы элементов с различными степенями окисления (Fe^{2+} , Fe^{3+}), (Mn^{2+} , Mn^{4+}), активированная (анионная) кремнекислота и другие, нормируемые «суммарно», перед выполнением анализа, в соответствии с ГОСТ Р 51232-98⁴, проба воды должна быть профильтрована через фильтр с размером пор 0,45 мкм на месте её отбора. В подавляющем большинстве случаев это требование не выполняется, что приводит к неверным результатам определения этих элементов при химическом анализе воды⁴, особенно при подкислении «мутных» проб воды, когда кислотой растворяются твёрдые минеральные вещества, образующиеся при гидроударах или суффозии в водозаборных скважинах. Часто за «суммарную» концентрацию вещества (химического элемента) в подземной воде принимается его «валовое» содержание, определённое без подготовки проб фильтрацией, что приводит к получению неверных исходных данных при оценке и прогнозе качества питьевых подземных вод и проектировании сооружений по водоподготовке подземных вод и, как следствие, к удорожанию себестоимости питьевой воды. СанПиН 2.1.4.1074-01 устанавливает термин «суммарная концентрация» следующим образом: «элементы и катионы (п. 1 раздела неорганические вещества) нормируются суммарно для всех степеней окисления, если это не указано иначе». Например, для железа и марганца это сумма катионов (Fe^{2+} , Fe^{3+}), (Mn^{2+} , Mn^{4+}), соответственно, их гидролизаты — коллоидные формы миграции (оксигидроксиды) СанПиН 2.1.4.1074-01 не нормируются. Для бария и стронция, нормируются ионы Ba^{2+} , Sr^{2+} , но не нормируются, как биологически инертные, коллоиды малорастворимых в воде сульфатов и карбонатов этих щелочноземельных металлов.

Немаловажным аспектом изучения и оценки качества подземных вод является учёт изменения форм миграции растворённых в воде химических веществ в ходе их разведки и эксплуатации, особенно в карбонатных коллекторах. Уменьшение давления в центре воронки депрессии при отборе воды до атмосферного и повышение температуры воды, относительно пластовых усло-

¹СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения». М., Технонорматив, 2010, 62 с.

²ГН 2.1.5.1315-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования». СПб., Нормоиздат, 2016, 154 с.

вий, при подъёме воды на дневную поверхность, приводит к нарушению карбонатного равновесия. В результате дегазации воды образуется коллоидная и взвешенные формы миграции, например, карбоната кальция и магния, иными словами — устраняемая жесткость воды, происходит коагуляция фильтра и прифильтрового пространства карбонатом кальция. При формировании воронки депрессии в безнапорных водоносных горизонтах образуется мощная зона аэрации, в пределах которой происходит смена окислительно-восстановительной обстановки на окислительную: окисление сульфидов (в основном гидротроилита — FeS), органических веществ кислородом воздуха. Результатом смены обстановки является увеличение кислотной агрессивности подземных вод за счёт окисления и гидролиза железа и образования угольной кислоты из биогенного и атмосферного CO_2 .

Отдельно следует отметить нормирование качества подземных вод по кремнию. Нормируемой формой миграции кремния в воде должна быть ионная форма кремнекислоты, «активированная кремнекислота» в терминологии СанПиН 2.1.4.1074-01, коллоидная и взвешенная формы не должны нормироваться. Регламентированный ГН 2.1.5.1315-03 «суммарный (общий) кремний» или сумма всех его форм миграции, должен быть отменён или откорректирован, так как нормируемой величиной является концентрация только истинно-растворённых форм его миграции.

Железо (Fe^{2+}) и марганец (Mn^{2+}), часто встречающиеся катионы-загрязнители, в питьевых подземных водах присутствуют лишь в бескислородных, бессероводородных водах, поскольку концентрация этих катионов контролируется либо нерастворимыми в воде оксигидрооксидами Fe^{3+} Mn^{4+} в аэробных условиях, либо сульфидами Fe^{2+} Mn^{2+} , например, гидротроилитом (FeS) в анаэробных. В связи с тем, что большая часть растворенного в воде кислорода атмосферных осадков поглощается почвенным профилем, донными осадками рек и озёр, подземные воды в большинстве случаев испытывают недостаток растворенного в воде кислорода и, как следствие этого, Fe и Mn минералов водовмещающих горных пород (кларковые концентрации) восстанавливаются углеродом органических остатков или нефтепродуктами до водорастворимых форм (Fe^{2+} , Mn^{2+}) [3]. Железо-марганцевые подземные воды образуются всегда, когда нарушен баланс атмосферного кислорода в сторону преобладания восстановителей, который можно регулировать режимом эксплуатации — понижениями уровня подземных вод. Исключение составляет глеевая (восстановительная, с восстановлением серы до S^{2-}) обстановка, когда в воронке депрессии происходит окисление вторичных сульфидов железа и марганца [3]. Неправильная оценка баланса окислителей и восстановителей в водовмещающих горных породах влечёт за со-

бой некорректный прогноз изменения концентраций железа (Fe^{2+}) и марганца (Mn^{2+}) на водозаборах, особенно при эксплуатации береговых водозаборов, где недооценивается роль пойменных органогенных отложений и сапропеля (ила) в поглощении кислорода и обогащении подземных вод восстановителями, например, железом (Fe^{2+}) и марганцем (Mn^{2+}). Для прогноза миграции переменного-валентных химических элементов (O, N, C, Mn, Fe, S, As, Se, U и др.), мигрирующих в подземных водах в различных степенях окисления, необходимо изучать минераловложений и химический составы, оценивать ёмкостные свойства (сорбционную ёмкость, ёмкость поглощения и состав обменных катионов, окислительно-восстановительную ёмкость, кислотно-основную (буферную) ёмкость) водовмещающих горных пород. Недостаточные исходные данные о химическом составе подземных вод и водовмещающих горных пород часто приводят к неверному прогнозу изменения их качества при разведке и эксплуатации, вследствие недоучёта главных гидрогеохимических процессов [1, 2].

Анализ сводится к оценке достаточности информации по характеристике всех факторов определяющих изменение качества подземных вод при эксплуатации, которые необходимо учитывать в последующих прогнозных расчётах.

Анализ—изучение—прогноз — итерационный процесс, последовательно повторяющийся по мере получения новой информации и оценки достаточности для прогнозирования. На основе разработки и последующего совершенствования модели формирования качества проводится оценка её информационного обеспечения и необходимости его повышения по определенным позициям и показателям.

Несоответствие масштабов и продолжительности возмущения водоносных горизонтов при их эксплуатации и опытно-фильтрационных работах при разведке подземных вод приводит к изменениям окислительно-восстановительных условий в водоносных горизонтах [1]. При длительной эксплуатации подземных вод формируется более мощная зона аэрации, особенно в пределах воронок депрессии, большее количество кислородсодержащих вод вовлекается в водообмен и, как следствие, происходит не только окисление восстановленных форм переменновалентных химических элементов (Fe, Mn, U, S, C, N) в подземных водах, но и окисление минералов водовмещающих горных пород, например, часто встречающегося гидротроилита (FeS) чёрного цвета. Процесс окисления сульфидных минералов и гидролиза железа и марганца ведёт к понижению pH среды, росту концентрации закисного железа, сульфатов, увеличению жесткости воды, вследствие *нейтрализации* и, как правило, к неверным прогнозам возможного уменьшения содержания при эксплуатации [3].

³ГОСТ 31861-2012. «Вода. Общие требования к отбору проб». М.: Стандартинформ, 2013. 31 с.

⁴ГОСТ Р 51232-98 «Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества». М.: Госстандарт России, 1998. 13 с.

Особенно часто имеют место неверные прогнозы уменьшения концентрации железа и марганца, жесткости воды на береговых водозаборах, когда прогнозируется привлечение кислородосодержащих поверхностных вод без учёта восстановительной ёмкости русловых отложений, и как следствие, меньшие концентрации железа (Fe^{2+}) и марганца (Mn^{2+}) в подземных водах наблюдаются при разведке и большие (до порядков) — при эксплуатации.

При этом, если масштаб возмущения на небольших водозаборах при опытных работах можно довести до эксплуатационного, то продолжительность возмущения всегда кратковременна [1]. Именно поэтому важнейшей задачей является изучение и сопоставление данных разведки и эксплуатации, оценка их сходимости и выявление факторов и процессов, неучтенных при прогнозировании по результатам разведки.

Прогноз. Достоверность прогнозирования возможных изменений качества подземных вод определяется не только полнотой исходной информации, но и выбранной методикой и технологией прогнозирования, их теоретической и методологической обоснованностью, соответствием расчётной модели реальным природным условиям, полнотой учёта изменения условий, определяющих состояние подземных вод при эксплуатации [1, 2].

Из многочисленных методов прогнозирования наиболее эффективным считается метод моделирования [4], который при правильном выборе расчётной модели и достаточности её информационного обеспечения может давать вполне приемлемые результаты.

В тоже время необходимо отметить, что в сложных условиях данные длительной эксплуатации и метод аналогий, интегрально учитывающие все факторы, определяющие изменение состава подземных вод, дают весьма надежные результаты [1]. Поэтому ещё раз подчеркнем, что только опыт эксплуатации является надёжным инструментом достоверного прогноза. Тем не менее, когда данных для эксплуатационного прогноза по выявленному тренду изменения показателей качества для использования метода аналогии недостаточно, на первое место выходит метод математического моделирования [4].

Проблема оценки рисков при прогнозировании качества подземных вод с применением численных методов моделирования имеет несколько аспектов, которые в целом связаны с недостаточностью и дискретностью (или точечностью) имеющейся информации и проблемами адекватной решаемым задачам схематизации, однако могут и должны решаться различными способами [4].

Математические методы прогнозирования разработаны для достаточного широкого класса задач:

1. *Транспортные модели* [4], учитывающие только направление потоков и баланс смешения подземных вод с различным содержанием показателя, выбранного для прогнозного решения (например, минерализация, жёсткость или содержание любого консервативного компонента).

В этих случаях риски и возможность не подтверждения прогнозов связаны с тем, что не учитываются многочисленный набор факторов, которые принципиально могут иметь влияние, соизмеримое с гидродинамическими (обуславливающими транспортным потоком растворённой массы вещества), — сорбцию и десорбцию, ионный обмен с породами и гидрохимическое взаимодействие вод разного качества при их смешении, растворение пород, изменение условий миграции компонентов при изменении окислительно-восстановительной обстановки, рассеяние (дисперсия) вещества за счёт неоднородности самих пород на мезо- и макроуровне.

2. *Миграционные модели* [4], учитывающие рассеяние вещества (дисперсию). Эти задачи возникают при прогнозировании изменения качества подземных вод при аварийных ситуациях, а также при наличии потенциальных точечных источников загрязнения в области влияния водозабора. Существенно возрастает при этом необходимость детальности учёта неоднородности фильтрационных свойств пород в плане и разрезе, так как имеющиеся решения предполагают однородность как фильтрационных параметров, так и параметров рассеяния в пределах выделенных элементов фильтрационной модели (слоёв, полей с заданными постоянными фильтрационными свойствами) [4].

3. *Миграционные модели* [4], учитывающие рассеяние вещества за счёт адсорбции, биodeградации и радиоактивного распада. Они применяются при моделировании как описанных выше задач аварийного загрязнения, так и при рассмотрении продвижения к водозаборам фронтов обширного площадного техногенного или природного загрязнения неконсервативными компонентами (тяжёлые металлы, растворённые нефтепродукты, фенолы и др.). Несмотря на то, что математический аппарат таких моделей хорошо разработан и обычно включён в распространённые пакеты моделирования фильтрации и миграции вещества (Modflow+MT3D (RT3D), Feflow, Geotech и другие) [4], риски при прогнозировании здесь существенно увеличиваются за счёт увеличения числа расчётных параметров, требующих изучения.

Таким образом, основные риски при не подтверждении прогнозов качества при моделировании миграционных процессов состоят в неполном или недостаточном учёте:

дискретности изучения фильтрационной среды и накладываемой на неё дискретности изучения гидрохимических характеристик и миграционных параметров (пористость, трещиноватость пород, характеристик рассеяния).

возможности неизученности и неучёта процессов рассеяния и взаимодействия растворённого вещества с породами;

увеличения числа действующих факторов и параметров, определяющих прогнозные решения при увеличении сложности нелинейных миграционных процессов;

несоответствием физико-химических условий в процессе разведки и эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бореvский Б.В., Грабовников В.А. Достоверность гидрогеологических прогнозов при оценке эксплуатационных запасов подземных вод. Мифы и реальность // Разведка и охрана недр, 2010. № 10. С. 3–8.
2. Бореvский Б.В., Ершов Г.Е., Кувyкина Ю.Ю. Условия формирования эксплуатационных запасов Нижне-мзымтинского месторождения пресных подземных вод на Черноморском побережье Кавказа и их пространственно-временное изменение под влиянием техногенной нагрузки // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2012. № 6. С. 503–514.
3. Borevsky B.V., Abramov V.U. Hydrogeological and geoecological risks when forecasting the quality of drinking ground water during it USE (study, analysis, forecasting, management) / Материалы междунар. конф. EngGeoPro-2011. Инженерная защита территорий и безопасность населения: роль и задачи геоэкологии, инженерной геологии и изысканий. М, 2011. С. 1436.
4. Gorokhovskiy V. Effective Parameters of Hydrogeological Models // Springer Briefs in Earth Sciences. 2012. P. 153.

REFERENCES

1. Borevsky B.V. and Grabovnikov V.K. The reliability of projections in the hydrogeological assessment of operating of groundwater. *Exploration and protection of the subsoil*, 2010, no. 10, pp. 3–8.
2. Borevsky B.V., Ershov G.E., Kuvikina Yu.Yu. Conditions of formation of Russian exploitation reserves derived from resources of Nizhnemzymtinskoe deposit of fresh underground waters on the Black Sea coast of the Caucasus and their spatio-temporal change under the influence of technogenic load, *Environmental geology, engineering geology, hydrogeology, geocryology*, 2012, no. 6, pp. 503–514.
3. Borevsky B.V., Abramov V.U. *Hydrogeological and geoecological risks when forecasting the quality of drinking ground water during it USE (study, analysis, forecasting, management)*. M, 2011, pp. 1436.
4. Gorokhovskiy V. *Effective Parameters of Hydrogeological Models*. Springer Briefs in Earth Sciences. 2012, pp. 153.