

вия ЯРОО предприятия на геологическую среду. По результатам проведенных исследований радиационного и гидрохимического воздействия объектов ФГУП «НИИП» на грунты и подземные воды не выявлено. Установлено, что качество подземных вод на территории института соответствует требованиям радиационной безопасности для питьевых вод. По состоянию на 2012 г. приповерхностные хранилища ТРО и ЖРО находятся в неподтопленном состоянии, поскольку глубина до уровня грунтовых вод от дна сооружений превышает 4 м.

Учитывая, что воздействия ЯРОО на геологическую среду не установлено, даны рекомендации по ведению мониторинга подземных вод в контрольном варианте: при минимальном объеме гидродинамического, радиационного и гидрохимического мониторинга по обоснованным индикаторам загрязнения.

Таким образом, на ФГУП «НИИП» создана система мониторинга подземных вод, предназначенная для выявления факта воздействия ЯРОО на геологическую среду, обоснования вида воздействия и выполнения прогнозных расчетов изменения состояния подземных вод на основе данных мониторинга и накопленного массива геологической информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гидрогеология СССР. Т. 1. — М.: Недра, 1966.
2. ГОСТ 25100-95. Грунты. Классификация. — М.: Издательство стандартов, 2011.
3. Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2010 г. Вып. 34. — М.: ООО «Геоинформмарк», 2011.
4. Методические рекомендации по ведению объектного мониторинга состояния недр на предприятиях Государственной корпорации «Росатом». — М.: Центр содействия социально-экологическим инициативам атомной отрасли, 2010.
5. Самсонов Б.Г. Основы объектного мониторинга геологической среды на предприятиях по разведке, добыче и использованию атомного сырья. — М.: Центр содействия социально-экологическим инициативам атомной отрасли, 2010.

© Коллектив авторов, 2013

Кочергина Наталья Вячеславовна // kochergina@msnr.ru
Лопатина Анастасия Александровна
Решетников Андрей Георгиевич // mail@qidrogeo30.ru
Крестинин Афанасий Александрович // Krestinin@oaogspi.ru
Маркитан Дмитрий Иванович // risi@niipribor.ru

УДК 556.639; 556.38

Куваев А.А., Семенов М.Е., Соколова О.В. (ФГУП «Гидроспецгеология»), Гремячкин В.А. (ОАО «ГНЦ НИИАР»)

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ХЛОРИДАМИ НА УЧАСТКЕ ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВОГО ВОДОЗАБОРА ОАО «ГНЦ НИИАР»

С использованием численного моделирования определены источники загрязнения хлоридами подземных вод, отбираемых хозяйственно-питьевым водозабором ОАО «ГНЦ НИИАР». Даны рекомендации по реабилитационным мероприятиям, обеспечивающим сохранение питьевого качества отбираемых вод. **Ключевые слова:** геофильтрационное и геомиграционное моделирование, загрязнение подземных вод, хлориды.

Kuvaev A.A., Semenov M.E., Sokolova O.V. (FSUGE «Hydrospeztsgeologiya»), Gremyachkin V.A. (JSC «SSC — Research Institute of Atomic Reactors»)

THE CHLORITE GROUNDWATER CONTAMINATION OF THE PUMPING WELLS OF JSC «STATE SCIENCE CENTER — RESEARCH INSTITUTE OF ATOMIC REACTORS»

*The chloride contaminations sources of groundwater are being intake by JSC «State Science Center — Research Institute of Atomic Reactors» were determined using numerical simulation. The recommendations on rehabilitation activities, providing stability of drinking water quality have been given. **Key words:** hydrodynamic simulation, chloride, groundwater contamination, numerical simulation.*

Подземный водозабор № 3 ОАО «ГНЦ НИИАР» расположен в 3,5 км юго-западнее г. Димитровград, на правом берегу Черемшанского залива Куйбышевского водохранилища, на расстоянии 250–300 м от уреза последнего, в пределах первой и второй надпойменных террас р. Б. Черемшан (рис. 1).

Водозабор эксплуатируется с 1972 г. и используется для централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения ОАО «ГНЦ НИИАР» и населения западной части г. Димитровград. Запасы подземных вод приурочены к толще песчано-глинистых аллювиальных отложений долины р. Б. Черемшан, частично затопленной Куйбышевским водохранилищем.

В разрезе четвертичных отложений сверху вниз выделяются два водоносных горизонта (рис. 2).

Слабоводоносный позднеплейстоцен-голоценовый аллювиальный горизонт (A_{III-IV}) приурочен к отложениям затопленной поймы и первой надпойменной террасы р. Б. Черемшан. Водовмещающие отложения представлены в нижней части разреза песками мелко-, крупнозернистыми и супесями с характерным значением коэффициента фильтрации 0,4–0,6 м/сут, в верхней части — суглинками и глинами. По химическому составу воды гидрокарбонатные, магниево-кальциевые с минерализацией 0,2–0,5 г/л, преимущественно умеренно жесткие и жесткие.

Водоносный среднеплейстоценовый аллювиальный горизонт (A_{II}), эксплуатируемый водозабором ОАО «ГНЦ НИИАР», распространен повсеместно на всей исследуемой территории и приурочен к аллювиальным отложениям второй и третьей надпойменных террас р. Б. Черемшан. Водовмещающие отложения представлены разнотернистыми песками с прослоями супесей, суглинков и глин, коэффициент фильтрации которых составляет 10–20 м/сут. Нижнюю часть разреза составляют мелко- и среднетернистые пески, к подошве переходящие в пески крупнозернистые, местами с галькой и гравием. В верхней части разреза преобладают глинистые отложения.

Грунтовые воды четвертичных отложений представляют собой в гидродинамическом отношении единый водоносный пласт. Суммарная мощность водовмещающих четвертичных отложений изменяется от 20 м на водоразделе до 300 м вблизи Черемшанского залива. Глубина залегания уровня грунтовых вод изменяется соответственно от 10–20 до 1–2 м.

В основании водоносной толщи четвертичных отложений залегает регионально выдержанный юрский глинистый водоупор (рис. 2).

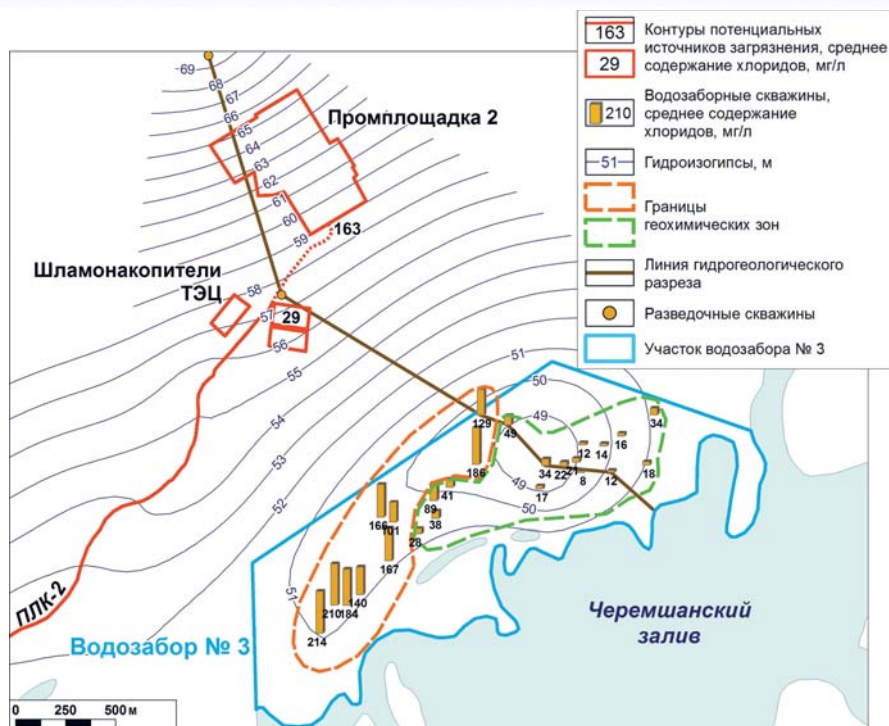


Рис. 1. Расположение водозабора № 3 ОАО «ГНЦ «НИИАР» и средние содержания хлор-иона в эксплуатируемых скважинах за период с 2000 по 2012 г.

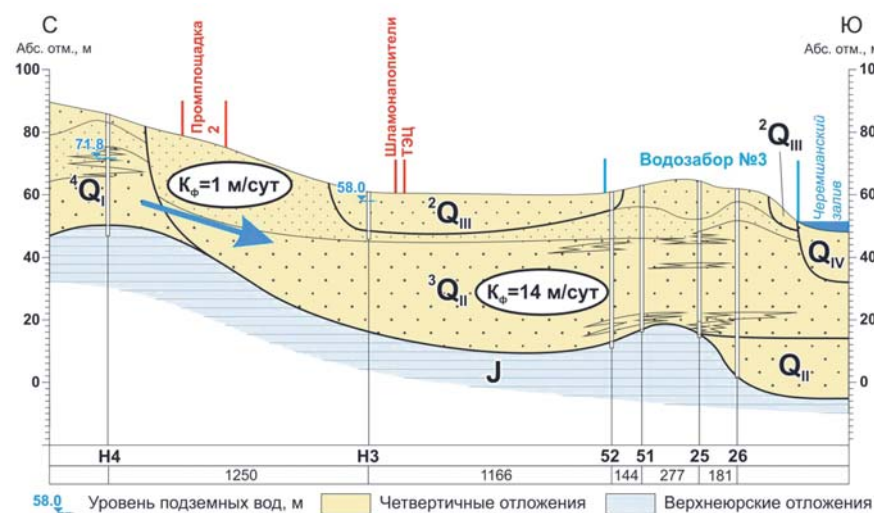


Рис. 2. Гидрогеологический разрез территории исследований

Региональный поток подземных вод направлен с северо-запада на юго-восток — к Куйбышевскому водохранилищу.

В 1991 г. по водозабору № 3 были утверждены запасы по кат. А+В в объеме 28,5 тыс. м³/сут; в 2015 г. в соответствии с условиями лицензионного соглашения должна быть выполнена переоценка запасов. Фактический среднесуточный дебит водоотбора с 2000 по 2012 г. составил 21 тыс. м³/сут.

Северо-западнее водозабора на расстоянии 1,5 км находятся потенциальные источники загрязнения подземных вод (рис. 1): промплощадка 2 ОАО «ГНЦ НИИАР», шламонакопители ТЭЦ, тепличное хозяйство и промливневая канализация (ПЛК).

Данные мониторинга за 2000–2012 гг. свидетельствуют, что в целом качество отбираемой воды соответствует всем необходимым требованиям, однако в ряде эксплуатационных скважин превышены фоновые содержания хлор-иона, являющегося в рассматриваемых условиях индикатором техногенного химического загрязнения. В качестве фоновое для подземных вод может быть принято значение 12 мг/дм³, полученное в 1969 г. при выполнении поисково-разведочных работ на участке водозабора.

Основными задачами исследования являются:

определение источников поступления хлор-иона в водозаборные скважины;

прогноз содержания хлор-иона в отбираемой водозабором воде на перспективу;

обоснование (при необходимости) мероприятий по реабилитации источников загрязнения подземных вод хлоридами.

Анализ данных гидрогеологического мониторинга. Для решения поставленных задач были проанализированы данные мониторинга водозабора за 2002–2012 гг. На рис. 1 показаны средние содержания хлор-иона в водозаборных скважинах за указанный период.

Как видно, в северо-западной части водозабора наблюдаются содержания хлор-иона до 100–214 мг/л, т.е. фоновые содержания превышены в 8–18 раз; в юго-восточной его части отмечаются менее значительные превышения фоновых содержаний хлор-иона. В некоторых скважинах содержания хлор-иона приближаются к фоновым. Низкие содержания хлор-иона в скважинах, расположенных в юго-восточной части водозабора, обусловлены поступлением вод из Черемшанского залива, для которого

характерны средние содержания хлор-иона около 17 мг/дм³ (т.е. близкие к фоновым значениям), а также, по-видимому, поступлением грунтовых вод из областей, не подверженных техногенному воздействию.

Изменение содержаний хлор-иона в водозаборных скважинах с 2002 по 2012 г. (рис. 3) свидетельствует о наличии устойчивой тенденции к снижению содержания по всем водозаборным скважинам. Колебания содержания этого компонента в отдельных скважинах могут быть объяснены их периодическим отключением, при котором изменяется пространственная структура зон водопитока и локальная конфигурация ореола загрязнения.

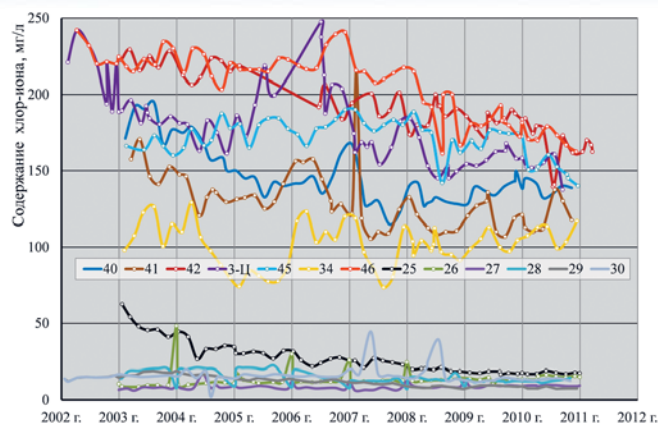


Рис. 3. Изменения содержаний хлор-иона в эксплуатируемых скважинах водозабора № 3 за период с 2002 по 2011 г. (в верхней части диаграммы представлена северо-западная группа скважин, в нижней — юго-восточная группа; цифры — номера скважин)

Изменения содержаний хлор-иона в потенциальных источниках загрязнения грунтовых вод с 2005 по 2011 г. показаны на рис. 4. Следует отметить, что в сбросных водах ПЛК-2 содержания хлор-иона в соответствии с данными мониторинга в период наблюдений достигали 1,9–6,1 г/дм³ при среднем значении 163 мг/дм³.

Геофильтрационное моделирование. Для количественной характеристики гидродинамических условий водоотбора была использована региональная геофильтрационная модель территории ОАО «ГНЦ НИИАР», разработанная ФГУП «Гидроспецгеология» в 2011 г. по контракту с Госкорпорацией «Росатом». Геофильтрационная схема модели представлена на рис. 5. Размеры ячеек модели в плане составили 25×25 м. Модель включала три расчетных водоносных слоя:

слой 1 — слабоводоносный верхнеплейстоцен-голоценовый аллювиальный горизонт поймы и первой надпойменной террасы;

слой 2 — относительно слабопроницаемый слой в кровле водоносного среднеплейстоценового горизонта;

слой 3 — водоносный среднеплейстоценовый горизонт.

Режим геофильтрационного потока принимался стационарным. Дебиты водозаборных скважин задавались постоянными, средними за период с 2002 по 2012 г.

Модель была разработана с помощью программного комплекса PMWIN-8 [2]. Геофильтрационные расчеты выполнялись с помощью

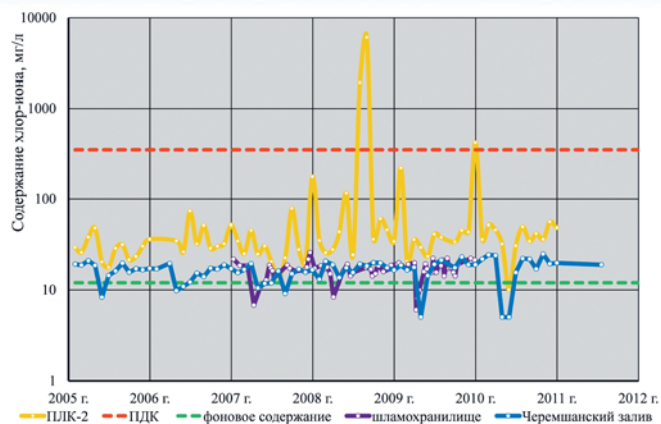


Рис. 4. Изменения содержаний хлор-иона в потенциальных источниках загрязнения грунтовых вод за период с 2005 по 2011 г.

вычислительной программы MODFLOW-2000, интегрированной в программный комплекс PMWIN-8. Калибровка геофильтрационной модели была проведена по данным среднегодовых значений уровней подземных вод. В процессе калибровки оценивалось инфильтрационное и техногенное питание грунтовых вод, а также коэффициент фильтрации относительно слабопроницаемого слоя в кровле водоносного среднеплейстоценового горизонта.

Модельный анализ балансовой структуры эксплуатационного водоотбора показал, что он на 38 % обеспечивается привлечением вод Черемшанского залива и на 62 % — естественными ресурсами.

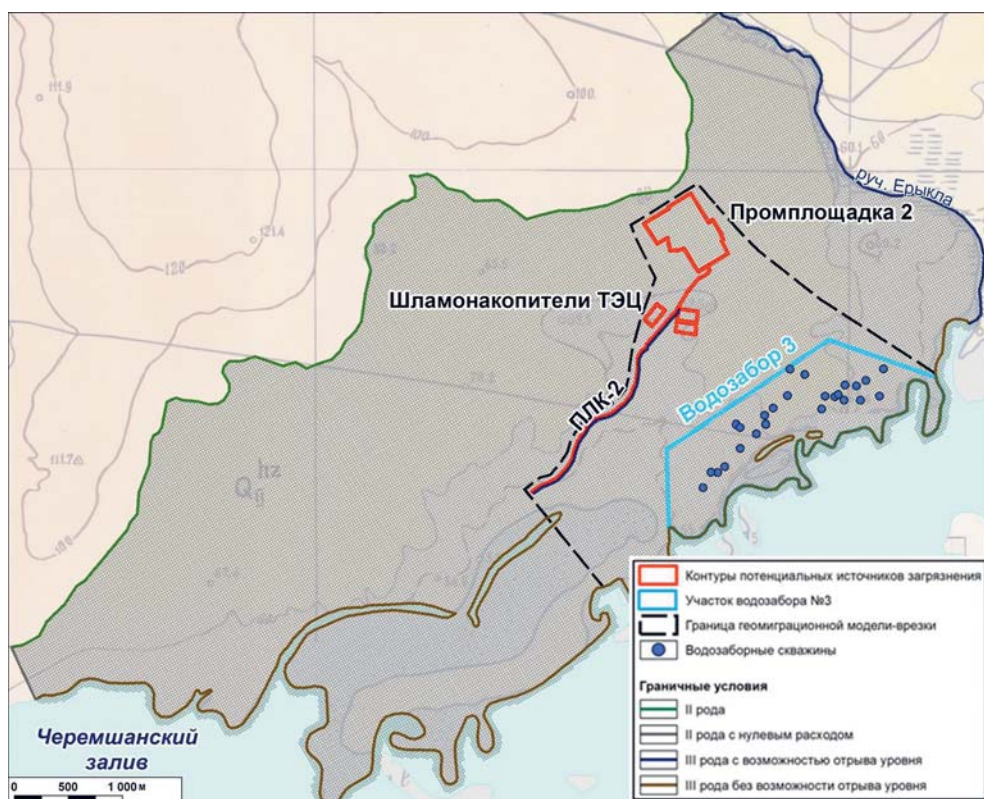


Рис. 5. Региональная геофильтрационная модель территории ОАО «ГНЦ НИИАР» и границы геомиграционной модели-врезки

Как показал анализ траекторий геофильтрационного потока, полученных по результатам гидродинамического моделирования, наиболее вероятным источником повышенных содержаний хлор-иона в этих скважинах является ПЛК-2, протекающая в открытом русле.

Геомиграционное моделирование. На основе региональной геофильтрационной модели для зоны водопритока водозабора № 3 была создана детальная геомиграционная модель-врезка, границы которой показаны на рис. 5.

Для получения более детальной характеристики фильтрационного и миграционного потока по вертикали слои геофильтрационной модели с первого по третий дополнительно разбивались на 6, 2 и 16 расчетных слоев соответственно. Таким образом, средняя мощность слоев геомиграционной модели составила 2–3 м.

В обеих постановках расчет миграции проводился с учетом конвективного переноса, дисперсии и диффузии.

Гидродинамическое поле принималось стационарным. Хлор-ион рассматривался при моделировании как не сорбируемый мигрант.

Параметры продольной α_L и поперечной α_T гидродинамической дисперсии были приняты по литературным данным в соответствии с имеющимися рекомендациями [1]: $\alpha_L = 10$ м; $\alpha_T = 1$ м. Активная пористость водовмещающих рыхлых песчано-глинистых отложений задавалась по литературным данным — 0,2 [1].

Моделирование геомиграции осуществлялось с использованием вычислительной программы MT3DMS, интегрированной в программный комплекс PMWIN-8.

На первом этапе моделирования была решена прямая геомиграционная задача: выполнены расчеты ореола хлор-иона со среднемноголетними концентрациями в источниках, рассчитанными непосредственно по данным мониторинга. В качестве потенциальных источников хлоридов рассматривались шламонакопители ТЭЦ, ПЛК-2, акватория Черемшанского залива, т.е. источники, по которым имеются данные мониторинга (таблица).

Расчеты показали, что практически полная стабилизация ореолов при условии постоянства содержания хлор-иона в источниках происходит в течение первых 10–15 лет с момента начала эксплуатации водозабора. Таким образом, наблюдаемые в водозаборных скважинах содержания хлор-иона можно считать установившимися (т.е. определяемыми средними значениями в источниках за последние десятилетия).

При сопоставлении средних за период наблюдений содержаний хлоридов в водозаборных скважинах с мо-

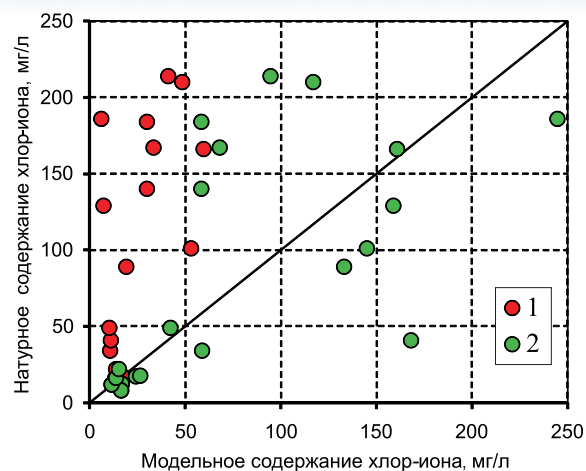


Рис. 6. Сопоставление натуральных содержаний хлор-иона в водозаборных скважинах с модельными значениями, рассчитанными при содержании хлор-иона в источниках: 1 — определенных по данным мониторинга (прямая геомиграционная задача), 2 — оцененных в результате решения обратной задачи

дельными значениями, полученными в результате решения прямой геомиграционной задачи, видно (рис. 6), что модельные значения существенно ниже наблюдаемых; это указывает на более высокие среднемноголетние содержания хлоридов в источниках.

Результаты решения прямой геомиграционной задачи показали неудовлетворительную сходимость модельных и фактических концентраций хлор-иона. Стандартное отклонение модельных концентраций хлоридов от натуральных составило 68 мг/дм³, или около 30 % относительно максимальной разницы содержаний хлор-иона в пределах водозабора.

Таким образом, заданные на модели среднемноголетние концентрации хлор-иона в источниках не в полной мере отражают реальную ситуацию. Отметим, что наблюдения за содержанием хлоридов в ПЛК-2 проводятся не чаще 1 раза в 2 мес (рис. 4). Возможно, в силу этого имеющиеся данные мониторинга источников не позволяют получить их адекватную оценку.

На втором этапе моделирования была решена обратная геомиграционная задача по оценке эффективных содержаний хлор-иона в потенциальных источниках загрязнения при сложившейся гидрогеологической обстановке. На модели содержания хлор-иона в источниках загрязнения подбирались таким образом, чтобы обеспечить наилучшую сходимость среднемноголетних наблюдаемых и модельных содержаний в эксплуатационных скважинах. При этом в качестве потенциального источника загрязнения дополнительно рассматривалась также промплощадка 2. Отметим, что основанием для выделения ее в качестве источника воздействия на подземные воды стало наличие относительно высоких (129–186 мг/л) содержаний хлор-иона в водозаборных скважинах, находящихся на пути движения потока подземных вод от этой промплощадки к водозабору.

Содержание хлор-иона в шламонакопителях ТЭЦ задавалось по данным мониторинга и не калибровалось.

В результате подбора были получены среднемноголетние расчетные содержания хлор-иона в потенци-

Содержание хлор-иона в потенциальных источниках загрязнения грунтовых вод по данным мониторинга (I) и по результатам решения обратной геомиграционной задачи (II)

Потенциальный источник загрязнения	Содержание, мг/л	
	I	II
Черемшанский залив	17	Не опр.
Шламонакопители ТЭЦ	30	
ПЛК-2	163	650
Промплощадка 2	Не опр.	280

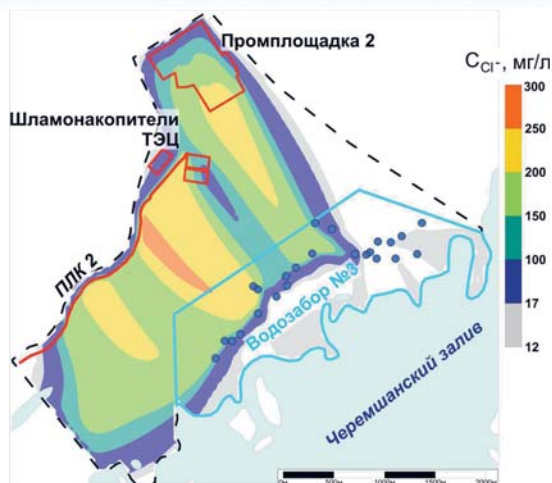


Рис. 7. Ореол распространения хлор-иона в среднеплейстоценовом водоносном горизонте при подобранных концентрациях в источниках на 2040 г. (по результатам моделирования)

альных источниках, представленные в таблице. В частности, расчетное содержание хлор-иона в ПЛК-2 составило 650 мг/л (т.е. почти в 4 раза больше, чем по данным мониторинга), а в пределах промплощадки 2 — 280 мг/л.

На рис. 6 представлено сопоставление средних за период наблюдений содержаний хлоридов в водозаборных скважинах с модельными значениями, полученными в результате решения обратной геомиграционной задачи. Как видно, результаты решения обратной геомиграционной задачи показывают более высокую сходимость модельных и фактических концентраций хлор-иона по сравнению с рассмотренными выше. Стандартное отклонение модельных концентраций хлоридов от натуральных составило 43 мг/дм³, или около 20 % относительно максимальной разницы содержаний хлор-иона в пределах водозабора.

Для получения более высокой сходимости модельных данных с натурными при моделировании следует учесть режим эксплуатации каждой водозаборной скважины и связанные с ним изменения конфигурации зон водопритока, а также возможные ретроспективные изменения режима работы источников загрязнения. Таким образом, содержания хлор-иона в источниках, полученные в результате решения обратной геомиграционной задачи, можно рассматривать как предварительные.

С использованием разработанной геомиграционной модели дана оценка современного ореола загрязнения подземных вод хлор-ионом. На рис. 7 представлены стабильные ореолы загрязнения, рассчитанные при содержаниях хлор-иона в источниках, оцененных в результате решения обратной задачи. По данным моделирования выделяется гипотетический ореол загрязнения от промплощадки 2, конкретные источники которого следует уточнить в ходе дальнейших исследований.

Как свидетельствуют результаты моделирования, наиболее интенсивное поступление хлоридов происходит из ПЛК. Ореол, сформировавшийся вследствие фильтрационных потерь из ПЛК-2 неоднороден: в его пре-

делах в плане выделяются две относительно обособленные части. Источники отдельных фрагментов ореола загрязнения в данном случае приурочены к участкам русла ПЛК-2, для которых характерна максимальная разница уровней грунтовых и поверхностных вод.

В результате выполненных работ даны рекомендации по реконструкции ПЛК-2, что позволит снизить ее негативное влияние и обеспечит снижение содержания хлоридов в отбираемой воде до фоновых значений, а также по развитию системы гидрогеологического мониторинга с целью уточнения расположения потенциальных источников загрязнения грунтовых вод на промплощадке 2.

Исследования показали также, что численные эксперименты на геомиграционной модели, включающие решение обратных (инверсных) геомиграционных задач, могут быть эффективными при оценке источников загрязнения подземных вод, обосновании мониторинга качества подземных вод и реабилитационных мероприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шестаков В.М. Гидрогеодинамика — М.: Изд-во МГУ, 2009.
2. Wen-Hsing Chiang, Kinzelbach W. 3D-groundwater modeling with PMWIN: a simulation system for modeling groundwater flow and pollution. — Springer, 2000.

© Коллектив авторов, 2013

Куваев Андрей Алексеевич // andrey_kuvaev@inbox.ru
Семенов Михаил Евгеньевич // semenov_m_e@msnr.ru
Соколова Олеся Владимировна
Гремячкин Владимир Анатольевич // vag@niiar.ru

УДК 556.025

Глинский М.Л., Глаголев А.В. (ФГУП «Гидроспецгеология»), Крюков О.В., Абрамов А.А. (Госкорпорация «Росатом»)

ОТРАСЛЕВАЯ СИСТЕМА ОБЪЕКТНОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ НЕДР НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

*Рассмотрены методологические и организационные вопросы создания и ведения отраслевой системы объектного мониторинга состояния недр (ОС ОМСН) на предприятиях Госкорпорации «Росатом», основные задачи, пути их решения и практической реализации. **Ключевые слова:** мониторинг состояния недр, Госкорпорация «Росатом», ядерно- и радиационно-опасные объекты, радиоактивные отходы, геофильтрационные и геомиграционные модели, окружающая среда, отраслевая система.*

Glinitskiy M.L., Glagolev A.V. (FSUGE «Hydrospeztgeologiya»), Kryukov O.V., Abramov A.A. (Rosatom State Nuclear Energy Corporation)

THE INDUSTRY SYSTEM OF OBJECT MONITORING OF THE SUBSURFACE CONDITION AT THE ENTERPRISES OF ROSATOM STATE NUCLEAR ENERGY CORPORATION

The article covers the methodological and arrangement issues of creating and maintaining the industry system of object monitoring of the subsurface conditions at the enterprises of Rosatom