

5. *Абрамов, В.Ю.* Формирование органического состава углекислых минеральных вод Эссентукского и Нагутского месторождений / В.Ю. Абрамов // Разведка и охрана недр. — 2014. — № 5. — С. 47–51.
6. *Балицкий, В.С.* О причинах вертикальной зональности распределения углеводородов в недрах земли: экспериментальные доказательства крекинга сырой нефти в высокотемпературных водно-углеводородных флюидах / В.С. Балицкий, Г.В. Бондаренко, Ж. Пиронон, С.В. Пентелей, Л.В. Балицкая, М.А. Голунова, Т.М. Бубликова // Сверхкритические флюиды, теория и практика. — 2013. — № 2. — С. 39–60.
7. *Борц, Б.В.* Экспериментальное исследование образования (микро)капель из раствора воды в сверхкритическом диоксиде углерода / Б.В. Борц, Ю.Г. Казаринов, И.М. Неклюдов, С.А. Сиренко, С.Ф. Скоромная, В.И. Ткаченко // Сверхкритические флюиды, теория и практика. — 2013. — № 2. — С. 68–76.
8. *Вернадский, В.И.* История минералов земной коры. Т. 2. / В.И. Вернадский. — М.: ОНТИ, 1936.
9. *Востриков, А.А.* Образование горючих газов при взаимодействии вольфрама и циркония со сверхкритическим флюидом  $H_2O/CO_2$  / А.А. Востриков, А.В. Шишкин, О.Н. Федяева, М.Я. Сокол // Сверхкритические флюиды, теория и практика. — 2012. — № 4. — С. 95–103.
10. *Гордадзе, Г.Н.* Углеводороды в нефтяной геохимии. Теория и практика / Г.Н. Гордадзе. — М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2015. — 559 с.
11. *Гумеров, Ф.* Сверхкритические флюиды и СКФ-технологии / Ф. Гумеров, Р. Яруллин // The Chemical Journal. — М., 2008. — С. 26–30.
12. *Крапивнер, Р.Б.* Происхождение уникальной геохимической аномалии в зоне перехода от континента к океану между Свальбардом и хребтом Книповича / Р.Б. Крапивнер, В.Ю. Абрамов // Геотектоника. — 2015. — № 5.
13. *Лившиц, С.Х.* Механизм образования нефти в сверхкритическом потоке глубоких флюидов / С.Х. Лившиц // Вестник РАН. — 2009. — Т. 79. — № 3. — С. 261–265.
14. *Лифшиц, С.Х.* Возможный механизм образования нефти в потоке сверхкритического флюида на примере диоксида углерода / С.Х. Лифшиц, О.Н. Чалай // Сверхкритические флюиды: Теория и практика. — 2010. — № 2. — С. 44–55.
15. *Halldor Armannsson, Thrainn Fridriks son, Gudmundur H. Gudfinnsson and co-autor.* / IDDP-The chemistry of the IDDP-01 well fluids in relation to the geochemistry of the Krafla geothermal system // *Geothermics*. — 2014. — № 49. — P. 66–75.

© Абрамов В.Ю., Пятаев А.А., 2020

Абрамов Владимир Юрьевич // abramov@hydec.ru  
Пятаев Александр Алексеевич // geosystems@mail.ru

УДК 556.332.6

**Зубанова Т.Н., Устинова Г.В. (ЗАО «ГИДЭК»)**

## ОЦЕНКА УВЕЛИЧЕНИЯ ИНФИЛЬТРАЦИОННОГО ПИТАНИЯ НА ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЯХ

*В статье рассматривается соотношение величины инфильтрации атмосферных осадков в естественных условиях и ее изменение на городской территории под влиянием утечек из водонесущих коммуникаций. Показано, что эта задача может быть эффективно решена методом математического моделирования. При этом под влиянием утечек с городской территории величина инфильтрации может возрасти в несколько раз. **Ключевые слова:** математическое моделирование, водоносный горизонт, междуречный массив, инфильтрационное питание, баланс модели.*

Zubanova T.N., Ustinova G.V. (HYDEC)

## ASSESSMENT OF INCREASED INFILTRATION NUTRITION IN URBAN AREAS

*The article considers the correlation between the amount of precipitation infiltration in natural conditions and its change in the urban area under the influence of leaks from water-bearing communications. It is shown that this problem can be effectively solved by mathematical modeling. Moreover, under the influence of leaks from the urban area, the amount of infiltration can increase several times. **Keywords:** mathematical modeling, aquifer, interfluvial array, infiltration nutrition, model balance.*

Особенно эффективно применение геофильтрационного моделирования на территории междуречья.

Инфильтрация атмосферных осадков является основной приходной статьей баланса месторождений пресных подземных вод.

Для оценки используются достаточно многообразные методы, систематизированные в работе [1] и включающие в себя:

- экспериментальные исследования на балансовых площадках;
- оценку расхода подземного потока по формуле Дарси;
- оценку подземного питания по расчленению гидрографа реки;
- метод расчета водного баланса;
- математическое геофильтрационное моделирование.

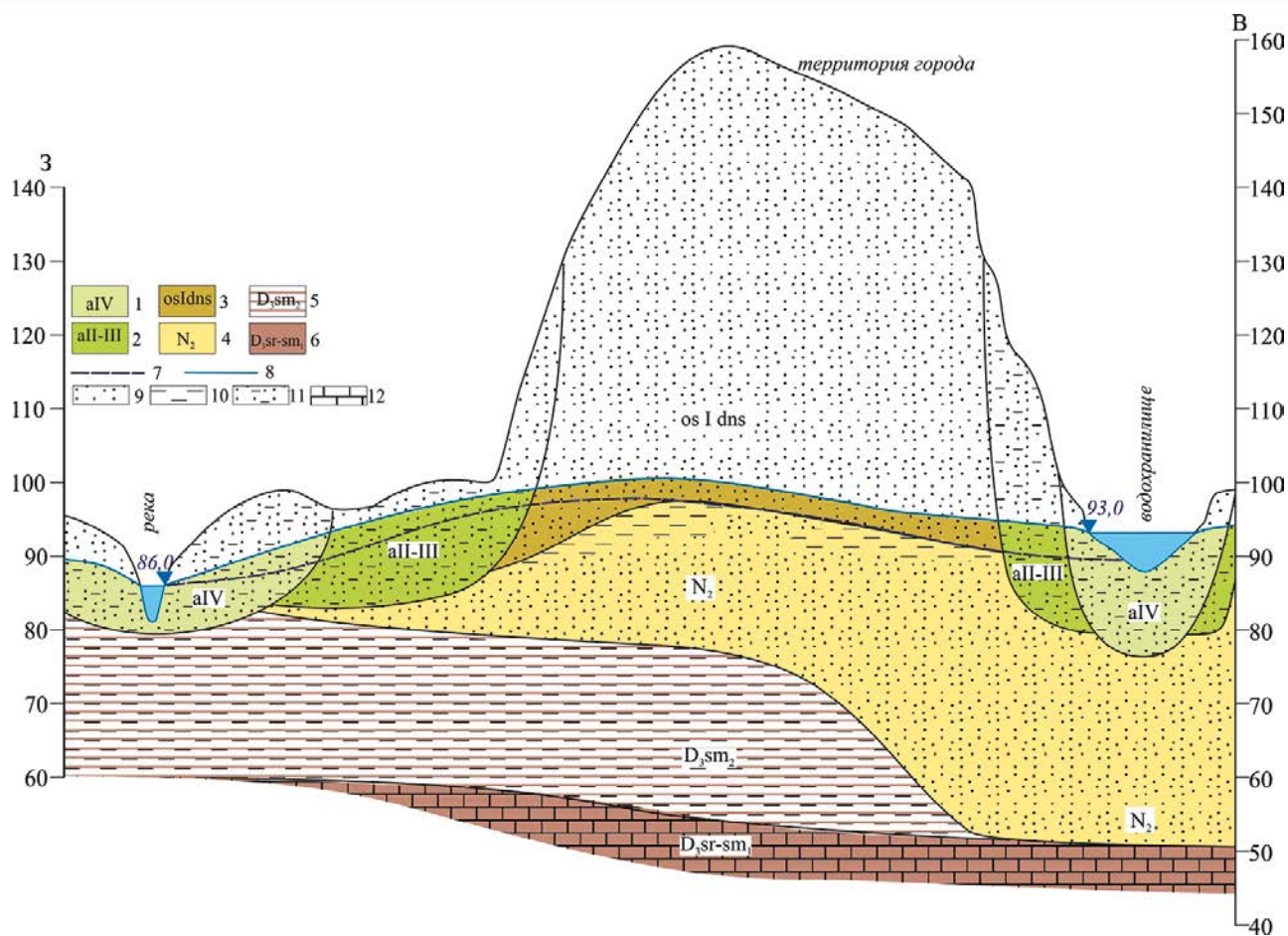
В составе перечисленных методов, широко охарактеризованных в многочисленных монографиях и статьях, особое место занимает геофильтрационное математическое моделирование. Оценка величины инфильтрационного питания этим методом выполняется путем подбора конфигурации карты гидроизогипс и уклона подземного потока на рассматриваемом водосборе. При этом изменение конфигурации гидроизогипс в разные временные периоды и абсолютных отметок уровня подземных вод на водоразделе позволят оценивать изменение величины инфильтрации под влиянием различных техногенных или климатических факторов.

Особый интерес представляет оценка величины инфильтрации и ее изменение на междуречном массиве под влиянием утечек с городской территории.

Эффективность применения математического моделирования возрастает при различной абсолютной высоте урезов воды в реках, ограничивающих междуречный водосбор, особенно при изменении положения уреза воды в реке вследствие подпора, например, при создании водохранилища.

В этих случаях конфигурация гидроизогипс и положение подземного водораздела существенно зависят от соотношения урезов воды в двух реках, ограничивающих массив. Соответственно меняется величина расхода подземных вод в направлении обеих рек, т.е. распределение инфильтрационного питания между ними.

Эта задача детально и неоднократно рассматривалась Г.Н. Каменским при решении профильных



**Рис. 1. Схематический геолого-гидрогеологический разрез междуречья:** 1 — водоносный современный аллювиальный горизонт; 2 — водоносный средне-верхнечетвертичный аллювиальный горизонт; 3 — водоносный донской озовый водно-ледниковый горизонт; 4 — водоносный плиоценовый аллювиальный комплекс; 5 — водоупорный верхнесемилюкский терригенный горизонт; 6 — водоносный саргаевско-нижнесемилюкский терригенно-карбонатный комплекс; 7 — уровень подземных вод до заполнения водохранилища; 8 — современный уровень (при эксплуатации водозаборами); 9 — пески; 10 — глины; 11 — пески с прослоями глин, суглинков; 12 — известняки

линейных гидродинамических задач в междуречных массивах [2, 3].

Решение пространственных задач с достаточной степенью достоверности, по-существу, реально только на математических моделях. Рассмотрим результаты оценки инфильтрационного питания в пределах характерного междуречья и его изменение под влиянием техногенеза.

В выбранном примере решение поставленной задачи усложняется следующими условиями:

- междуречный массив представляет собой многослойную водоносную систему, причем основной водоносный горизонт, по которому определяется питание подземных вод залегает вторым, а на отдельных участках — третьим от поверхности;

- положение уреза одной из рек, ограничивающих междуречье, изменено под влиянием заполнения водохранилища;

- на территории междуречья расположен достаточно крупный город, с территории которого имеют место утечки воды из ливневых водопроводных и других коммуникаций;

- действующие водозаборы приводят к деформации конфигурации гидроизогипс и уклона потока.

В геологическом строении междуречья до изучаемой глубины разреза принимают участие породы от верхнего девона до четвертичных образований. В пределах междуречья распространены следующие горизонты и комплексы (рис. 1):

- водоносный современный аллювиальный горизонт (a IV);
- водоносный средне-верхнечетвертичный аллювиальный горизонт (aII-III);
- водоносный донской озовый водно-ледниковый горизонт (os I dns);
- водоносный плиоценовый комплекс ( $N_2$ );
- водоупорный верхнесемилюкский горизонт ( $D_3 sm_2$ );
- водоносный саргаевско-нижнесемилюкский комплекс ( $D_3 sr-sm_1$ ).

*Водоносный современный аллювиальный горизонт* распространен в долинах рек и крупных балок. Водовмещающими породами являются разнозернистые пески, местами глины и суглинки с прослоями песков. В основании горизонта — пески с прослоями и примесью галечника и гравия. Водоносный горизонт повсеместно залегает первым от поверхности и, как

правило, не имеет водоупорного перекрытия. Водообильность горизонта неравномерная, характеризуется дебитами скважин 1.8–15 л/с, коэффициент фильтрации изменяется в широких пределах от 0.5 до 92 м/сут, составляя в среднем 18–25 м/сут.

*Водоносный средне-верхнечетвертичный аллювиальный горизонт* включает обводненные аллювиальные отложения надпойменных террас долин рек. Водовмещающими породами являются разнородные пески, часто с гравийно-галечными отложениями в основании и прослоями супесей, суглинков и глин. Коэффициент фильтрации изменяется от 0.3 до 10 м/сут, увеличиваясь для гравийно-галечников и грубозернистых песков до 30–88 м/сут. Водообильность горизонта в целом незначительна. Удельные дебиты скважин и колодцев колеблются от 0.03 до 0.88 л/с, но иногда достигают 1.1–2.78 л/с.

*Водоносный донской озовый водно-ледниковый горизонт* распространен на междуречье. На большей части горизонт сдренирован и характеризуется как проницаемый неводоносный донской озовый водно-ледниковый горизонт. Отложения представлены разнородными песками с валунно-галечным базальным горизонтом, с редкими невыдержанными линзами суглинков и глин. Коэффициент фильтрации изменяется от 0.7 до 20 м/сут. Горизонт безнапорный, имеет низкую водообильность за счет малой мощности.

*Водоносный плиоценовый комплекс* приурочен к палеодолине. Разрез сложен толщей разнородных песков, от тонко- до грубозернистых, различной степени глинистости, с прослоями песчаных глин и суглинков. Более грубые фракции преобладают в основании толщи. Плиоценовые песчаные отложения залегают на глинах семилукского водоупора или на саргаевско-нижнесемилукских известняках. Водоносный комплекс имеет тесную гидравлическую связь с выше- и нижележащими водоносными подразделениями, в большинстве случаев имеет с ними единый

уровень. Водообильность комплекса значительна — удельные дебиты скважин на водозаборах составляют 4.8–10.5 л/с. Значения коэффициентов фильтрации достигают 213.5 м/сут, преобладающие значения — 35–50 м/сут. Водоносный комплекс является основным источником централизованного питьевого и технического водоснабжения города.

*Водоупорный верхнесемилукский горизонт* распространен в междуречье за исключением центральной части переуглубленной плиоценовой палеодолины. Представлен аргиллитоподобными глинами с маломощными прослоями мергелей и известняков. Слабопроницаемые глины служат нижним водоупором для вышележащих гидрогеологических подразделений. Является первым от поверхности региональным водоупором.

*Водоносный саргаевско-нижнесемилукский комплекс* в пределах городской территории развит повсеместно. Представлен известняками в различной степени трещиноватыми, как правило кавернозными, с подчиненными прослоями мергелей и аргиллитоподобных глин. Удельные дебиты скважин изменяются от 0.001 л/с до 50 л/с. Значения коэффициентов фильтрации изменяются в широких пределах и зависят от степени трещиноватости пород — от 0,003 до 340 м/сут, в среднем составляя 0,1–0,4 м/сут.

Оцениваемая территория расположена в междуречье, в пределах которой на одной из рек построено водохранилище. На водораздельной поверхности расположен промышленный город, централизованное водоснабжение которого осуществляется за счет подземных водоисточников.

Для решения комплекса геофильтрационных задач создана геофильтрационная модель с использованием программного обеспечения Modflow (Геологическая Служба США, М.С. Donald, Harbaugh, 1988). Модель откалибрована последовательным решением серии обратных задач за более чем 50-летний период для

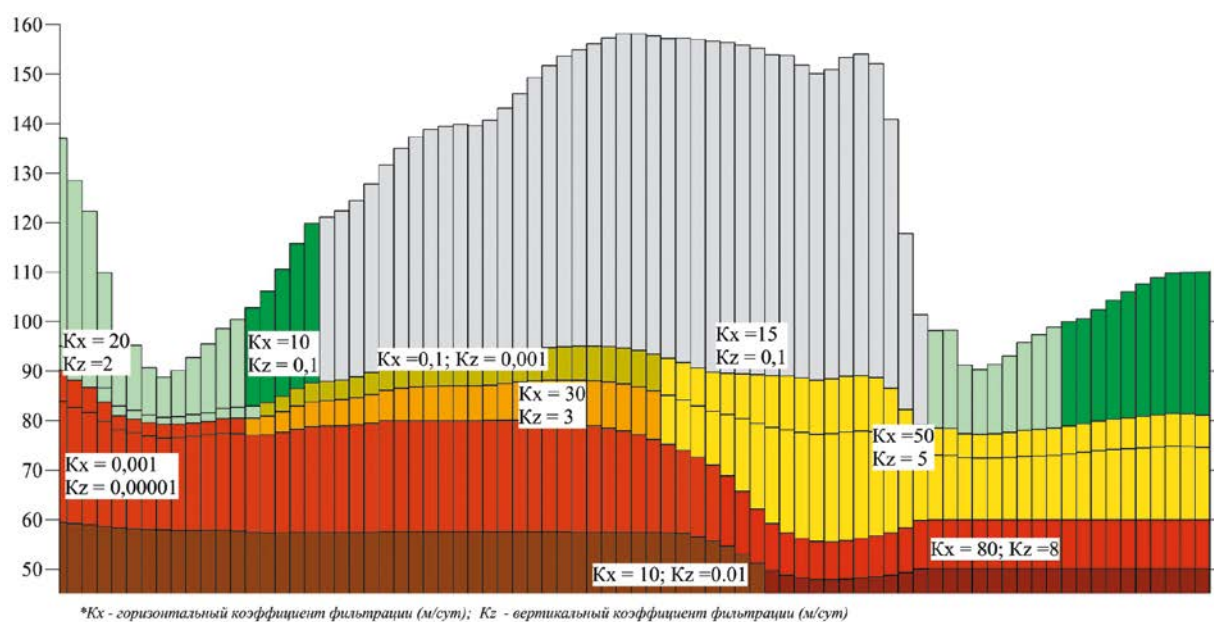
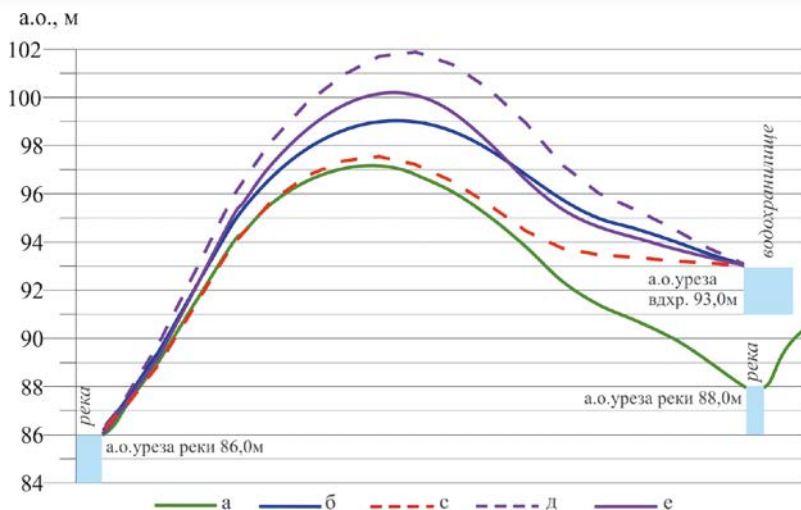


Рис. 2. Схема задания параметров фильтрации в геофильтрационной модели





**Рис. 3. Графики уровня подземных вод при моделировании междуречья:** а — естественные условия (с реками); б — с водохранилищем и рекой; с — с водохранилищем и водозаборами; д — с повышенной инфильтрацией; е — с повышенной инфильтрацией и водозаборами

определения величины инфильтрационного питания подземных вод и его изменения в различные характерные периоды под влиянием техногенеза.

Вертикальная схематизация геофильтрационной модели включила пять расчетных слоев: 1 — все четвертичные отложения; 2 — плиоценовые отложения (верхняя часть); 3 — плиоценовые отложения (нижняя часть); 4–5 — девонские образования соответственно верхнесемилукского и саргаевско-нижнесемилукского возрастов. По выделенным слоям заданы зоны с различными фильтрационными параметрами (рис. 2).

В геофильтрационной схеме заданы граничные условия II и III рода. В первом слое модели заданы поверхностные водотоки в качестве граничного условия III рода. На верхнюю границу первого от поверхности водоносного пласта по площади задано граничное условие II рода — инфильтрационное питание за счет атмосферных осадков. По опыту многолетних исследований, проводимых ЗАО «ГИДЭК» по оценке ресурсного потенциала подземных вод по всей территории Российской Федерации, средняя величина инфильтрационного питания близка к 20 % от общей суммы атмосферных осадков. При среднегодовой величине осадков в районе работ в количестве 550–600 мм/год инфильтрация в изучаемом районе может составлять 100–120 мм/год. Исходя из этого значения, на моделируемой площади задано инфильтрационное питание от 100 до 150 мм/год в зависимости от литологического состава отложений. Наибольшее значение инфильтрации (150 мм) на модели соответствует области распространения хорошо проницаемых флювиогляциальных пород, слагающих междуречье.

На рассматриваемом междуречье наблюдается повышение уровня подземных вод в эксплуатируемом водоносном комплексе, которое связано в первую очередь с общим подъемом уровня воды вследствие подпора за счет строительства водохранилища. Исходя из этого, калибровка модели происходила в первую

очередь решением двух основных обратных задач:

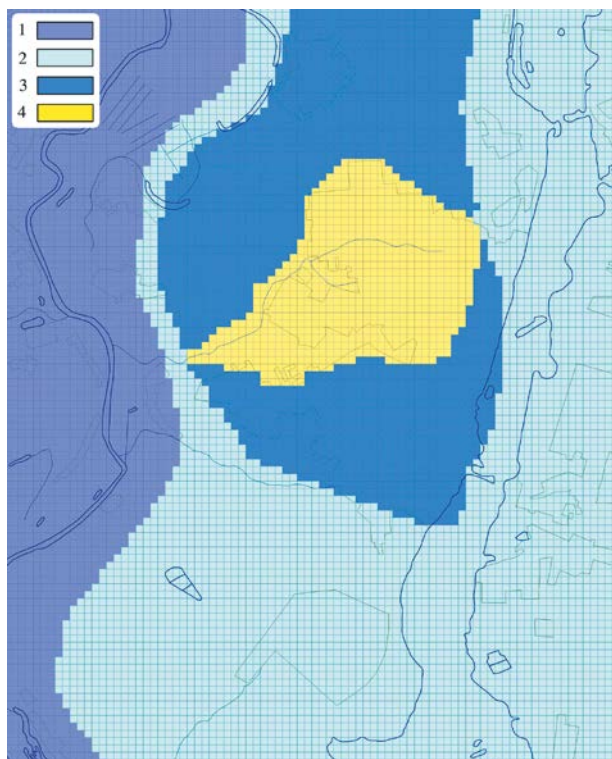
- 1) воспроизведение гидродинамических условий до заполнения водохранилища (условно естественные условия);
- 2) воспроизведение гидродинамических условий после заполнения водохранилища.

Максимальные абсолютные величины значений уровня на водоразделе в настоящее время составляют около 100–102 м, подъем уровня относительно условий до заполнения водохранилища — 3–6 м. Результаты решения этих задач (рис. 3, графики «а» и «б») показали, что разница в уровнях меньше, чем фактическая и составляет на верхних точках водораздельной поверхности 2–3 м. Кроме того, задача решена без учета работы водозаборов, расположенных на моделируемой площади, роль которых в гидродинамической обстановке территории

весьма существенна, поэтому была решена обратная задача по воспроизведению гидродинамических условий после заполнения водохранилища с учетом работы водозаборов (рис. 3, график «с»).

Как видно из полученных результатов, на водораздельной площади необходимо задать дополнительный источник питания.

Повышение уровня подземных вод может быть связано также с утечками из водоводов, резервуаров, канализации и т.д. в пределах городской застройки и



**Рис. 4. Схема задания инфильтрационного питания.** Значения инфильтрационного питания, мм/год: 1 — 100; 2 — 120; 3 — 150; 4 — 400

промышленных предприятий. На геофильтрационной модели решена серия обратных задач, в которых менялись значения инфильтрационного питания на городской территории, потенциально подверженной техногенным проливам воды. Инфильтрационное питание в части города было увеличено до 400 мм/год (рис. 4). Результаты решения задач показали, что при таком увеличении модельные уровни близки к фактическим (рис. 3, графики «д», «е»).

По результатам вариантного моделирования рассчитан баланс модели. Увеличение приходной составляющей в балансе за счет повышения инфильтрации в черте города (балансовая зона 4 на рис. 4) достигает 20 тыс. м<sup>3</sup>/сут при заданной инфильтрации 400 мм/год.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Боровский, Б.В. Оценка запасов подземных вод / Б.В. Боровский, Н.И. Дробноход, Л.С. Язвин. — Киев: Изд-во «Выща школа», 1989. — 407 с.
2. Каменский, Г.Н. Основы динамики подземных вод / Г.Н. Каменский. — М.: Госгеоиздат, 1943.
3. Каменский, Г.Н. Поиски и разведка подземных вод / Г.Н. Каменский. — М.: Госгеоиздат, 1947. — 313 с.

© Зубанова Т.Н., Устинова Г.В., 2020

Зубанова Татьяна Николаевна // saratov@hydec.ru  
Устинова Галина Вячеславовна // saratov@hydec.ru

УДК 550.8, 556.314, 556.388

Гараева Т.В., Вавичкин А.Ю. (ЗАО «ГИДЭК»)

#### АНАЛИЗ ПРИЧИН НЕСООТВЕТСТВИЯ ПРОГНОЗА КАЧЕСТВА ПИТЬЕВЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ДАННЫХ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА РАЗВЕДАННОМ УЧАСТКЕ В ПАЛЕОДОЛИНЕ Р. СВЯГА РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

*Рассмотрены причины не подтверждения разведочно-прогноза изменения качества подземных вод данными эксплуатации. Особое внимание уделено методике выявления и анализу причин повышения показателей общей жесткости и железа в подземных водах в условиях изменившейся водохозяйственной обстановки и санитарных условий. **Ключевые слова:** питьевые подземные воды, поисково-разведочные работы, зона санитарной охраны, показатели качества воды, загрязнение подземных вод.*

Garaeva T.V., Vavichkin A.Yu. (HYDEC)

ANALYSIS OF THE REASONS FOR THE DISCREPANCY BETWEEN THE FORECAST OF THE QUALITY OF DRINKING GROUNDWATER AND THE EXPLOITATION DATA ON THE EXPLORED SITE IN THE PALEO-VALLEY OF THE SVIYAGA RIVER OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

*The reasons for not confirming the exploratory forecast for changes in groundwater quality with operation data are considered. Particular attention is paid to the methodology for*

*identifying and analyzing the reasons for the increase in the indicators of general hardness and iron in groundwater in the conditions of changing water management and sanitary conditions. **Keywords:** drinking underground water, prospecting and exploration, sanitary protection zone, water quality indicators, underground water pollution.*

В период с 2010 по 2012 г. в палеодолине р. Свяга выполнены поисково-разведочные работы, направленные на обоснование источника хозяйственно-питьевого водоснабжения предприятия по производству этилового спирта из пищевого сырья (спиртозавода). Предъявленные Заказчиком требования к качеству воды, используемой в технологическом процессе изготовления спирта более жесткие, чем требования СанПиН 2.1.4.1074-01 «Вода питьевая...», пределы содержания отдельных компонентов, характеризующих качество подземных вод следующие: общая жесткость — до 7 °Ж; Fe — до 0.3 мг/л; Mg < 20–50 мг/л; фтор ≤ 0.7–1.5 мг/л; Ca < 30–140 мг/л; M<sub>общ.</sub> — до 0.3 г/л.

По результатам наземных геофизических исследований (методом ЗСБ) в пределах развития песчаных отложений плиоцен-четвертичного водоносного комплекса выбран перспективный участок, расположенный в 3.8 км северо-западнее спиртозавода (рис. 1, 2) [1–3].

На участке последовательно выполнены бурение, каротаж, фильтрационное и гидрогеохимическое опробование двух поисковых, четырех разведочно-эксплуатационных скважин (глубиной 46 м), формирующих схему водозабора с производительностью 3,4 тыс. м<sup>3</sup>/сут и четырех наблюдательных скважин для проведения кустовой откачки.

Для бурения и освоения разведочно-эксплуатационных скважин (№№ 1–4) применены новейшие технологии сооружения высокодебитных скважин (рабочая часть — фильтры проволочные каркасно-стержневые, мод. «STUEVA», Германия), апробированные на современных российских и зарубежных водозаборах. По результатам опытно-фильтрационных работ получены высокие дебиты 907–1440 м<sup>3</sup>/сут, что подтвердило обоснованность принятых решений. По результатам кустовой откачки из возмущающей скв. № 1 с производительностью 16,67 л/с (1440 м<sup>3</sup>/сут) уточнены фильтрационные параметры продуктивного пласта, схема водозабора и определены условия промышленного каптажа подземных вод.

Качество подземных вод, локализованных в продуктивном пласте, в основном соответствует питьевым условиям и установленным Заказчиком работ требованиям, за исключением содержания железа — до 3,38 мг/л (ПДК-0,3 мг/л), марганца — до 0,44 мг/л (ПДК-0,1 мг/л). Перед использованием воды в хозяйственно-питьевых целях необходима водоподготовка — обезжелезивание и деманганация.

Схема расчетного водозабора представляла собой линейно вытянутый, вкрест тальвега палеодолины р. Свяга ряд, состоящий из 4-х скважин, в том числе 3-х рабочих и 1 резервной с производительностью 1130 тыс. м<sup>3</sup>/сут каждая (суммарно 3,4 тыс. м<sup>3</sup>/сут).