

УДК 504.4.054

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2024-63-4-45-51

## ПРОГНОЗ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД МЕТОДОМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ КИБРАЙСКОГО УЧАСТКА ЧИРЧИКСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)

**Толкун Джураевич Мирахмедов<sup>1</sup>, Мухайёхон Акрамовна Абдуллаева<sup>2</sup>,  
Всеволод Николаевич Самарцев<sup>3✉</sup>**

<sup>1</sup> Университет геологических наук, Ташкент, Узбекистан; miraxmedov\_td@nuu.uz

<sup>2</sup> Университет геологических наук, Ташкент, Узбекистан; farishta\_nuuz@mail.ru

<sup>3</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; vnsamartsev@gmail.com ✉

**Аннотация.** В статье приведен прогноз загрязнения подземных вод на примере Кибрайского участка Чирчикского месторождения. Были составлены модели для прогнозирования поступления загрязнения в подземные воды и выявления геофильтрационных и геомиграционных процессов. С помощью этих моделей была установлена взаимосвязь качества подземных и поверхностных вод и выявлено, что формирование эксплуатационных запасов Чирчикского месторождения происходит за счет искусственных ресурсов и привлекаемых ресурсов (поверхностных вод из русла р. Чирчик).

**Ключевые слова:** гидрогеодинамика, подземные воды, численная модель, моделирование миграции

**Для цитирования:** Мирахмедов Т.Д., Абдуллаева М.А., Самарцев В.Н. Прогноз загрязнения подземных вод методом численного моделирования (на примере Кибрайского участка Чирчикского месторождения) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2024. № 4. С. 45–51.

## GROUNDWATER CONTAMINATION FORECAST USING NUMERICAL MODELING (ON EXAMPLE OF QIBRAY SITE OF CHIRCHIQ WATERSHED)

**Tolkun D. Mirahmedov<sup>1</sup>, Mukhayokhon A. Abdullaeva<sup>2</sup>, Vsevolod N. Samartsev<sup>3✉</sup>**

<sup>1</sup> University of Geosciences, Tashkent, Uzbekistan; miraxmedov\_td@nuu.uz

<sup>2</sup> University of Geosciences, Tashkent, Uzbekistan; farishta\_nuuz@mail.ru

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; vnsamartsev@gmail.com ✉

**Abstract.** The article presents a forecast of groundwater pollution on the example of the Kibray site of the Chirchik field. Models were developed to predict the entry of pollution into groundwater and to identify flow and transport processes. With the help of these models, the relationship between the quality of groundwater and surface water was established and it was revealed that the formation of operational reserves of the Chirchik field occurs due to artificial resources and attracted resources (surface water from the Chirchik riverbed).

**Keywords:** hydrogeodynamics, groundwater, numerical modeling, transport modeling

**For citation:** Mirahmedov T.D., Abdullaeva M.A., Samartsev V.N. Groundwater contamination forecast using numerical modeling (on example of Qibray site of Chirchiq watershed). *Moscow University Geol. Bull.* 2024; 4: 45–51. (In Russ.).

**Введение.** В настоящей статье рассматривается проблема качества подземных вод на Кибрайском участке Чирчикского месторождения подземных вод (рис. 1). Основными путями попадания техногенного загрязнения в подземные воды являются: фильтрация из водотоков, утечки из хвосто- и шламохранилищ, фильтрация с полей орошения, участки искусственного пополнения запасов подземных вод.

По данным Ташкентской Гидрогеологической станции (ГГС) на территории Чирчикского месторождения Узбекистана расположено 1925 предприятий, имеющих выбросы вредных веществ. Часть этих предприятий, например ПО «Электрохимпром» и ОАО «УЗКТЖМ», расположены в средней части р. Чирчик, выше по течению в 12–15 км от Кибрай-

ского водозабора. Лишь 38% предприятий оборудовано очистными сооружениями, при этом в маловодный период сток в реке часто формируется только за счет сброса «условно чистых» вод [Расулов и др., 2003]. Поэтому изучение загрязнения подземных вод при взаимодействии с поверхностными водами является актуальной задачей.

Целью работы являлось прогнозирование поступления загрязнения в подземные воды, а также выявления геофильтрационных и геомиграционных процессов, влияющих на загрязнение подземных вод, с помощью специально разработанной численной модели. На территории Узбекистана при построении численной модели широко применяют методику, разработанную исследователями в обла-

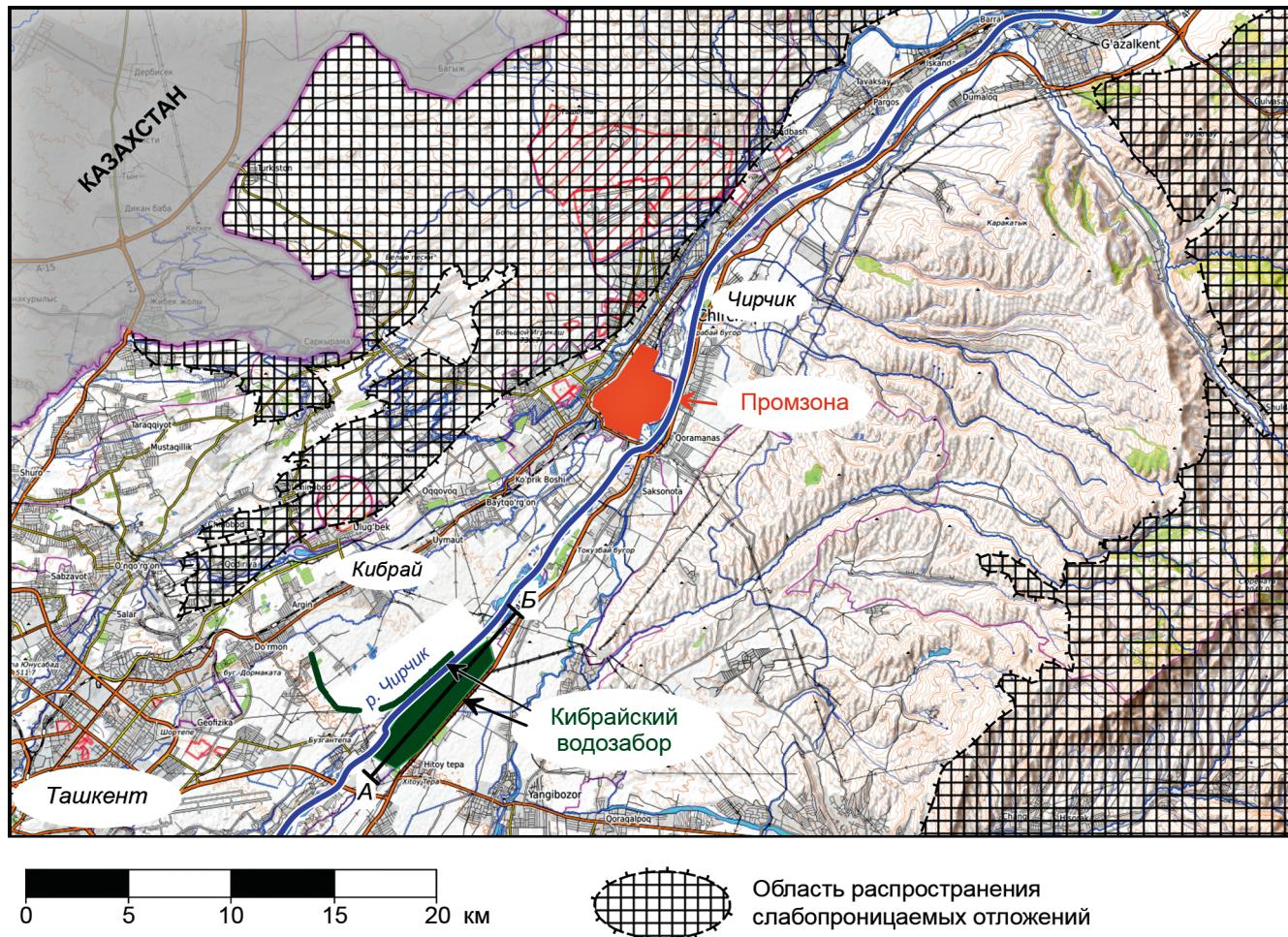


Рис. 1. Схема размещения водозабора и источники загрязнения

сти моделирования геофильтрационных процессов [Абуталиев, Усманов, 1981; Мирахмедов, 2016]. Для достижения цели были поставлены следующие задачи.

1. Определение скорости движения ореола загрязнения с учетом взаимосвязи поверхностных и подземных вод.

2. Расчет изменения минерализации поверхностных вод в случае загрязнения подземных вод.

3. Расчет изменения минерализации подземных вод в случае загрязнения поверхностных вод.

**Описание объекта.** На Кибрайском участке действуют два водозабора — левобережный и правобережный «Кибрай». Они состоят из линейных рядов скважин — один ряд длиной 7,5 км на правом берегу и четыре ряда длиной 3–4 км на левом берегу. В годовом разрезе динамические уровни воды в скважинах на линиях рядов водозабора подвержены ритмическим изменениям, соответствующим периодам межени (декабрь–март) и ирригационного «половодья» (май–август). Таким образом, в положении уровней подземных вод есть выраженная сезонная изменчивость, однако многолетние изменения отсутствуют. За счет этого при рассмотрении прогнозного периода продолжительностью в несколько лет и моделировании меженных условий режим потока можно принять стационарным.

В геологическом отношении на участке Кибрайских водозаборных сооружений (КВС) рассматриваются аллювиальные отложения четвертичной системы (рис. 2). Их мощность превышает 263 м (изученная глубина).

Гидрологические условия Кибрайского участка Чирчикского месторождения подземных вод изучены достаточно подробно [Расулов и др., 2003]. Первый от поверхности водоносный горизонт приурочен к галечникам с песчано-гравийным заполнителем мощностью до 25–50 м. Галечники в своем составе содержат валуны размером от 15 до 30 см (около 3%). Фракция гальки от 90 до 95 мм составляет 74%, песчаные частицы и гравий составляют 21%. Коэффициент фильтрации в средней части 25–65 м/с. Уровень подземных вод на рассматриваемом участке расположен на глубине 2–10 м. Подземные воды пресные с минерализацией до 1,0 г/л. Тип воды гидрокарбонатный натриево-кальциевый. В связи с близким залеганием уровня грунтовых вод (УГВ) и отсутствием в кровле выдержанного водоупора первый водоносный горизонт комплекса загрязнен сельскохозяйственными удобрениями, фенолами и нефтепродуктами. Минерализация подземных вод изменяется от 1,5 до 2,0 г/л в нижней части долины. На территориях, расположенных ниже водозабора, величина минерализации колеблется — местами

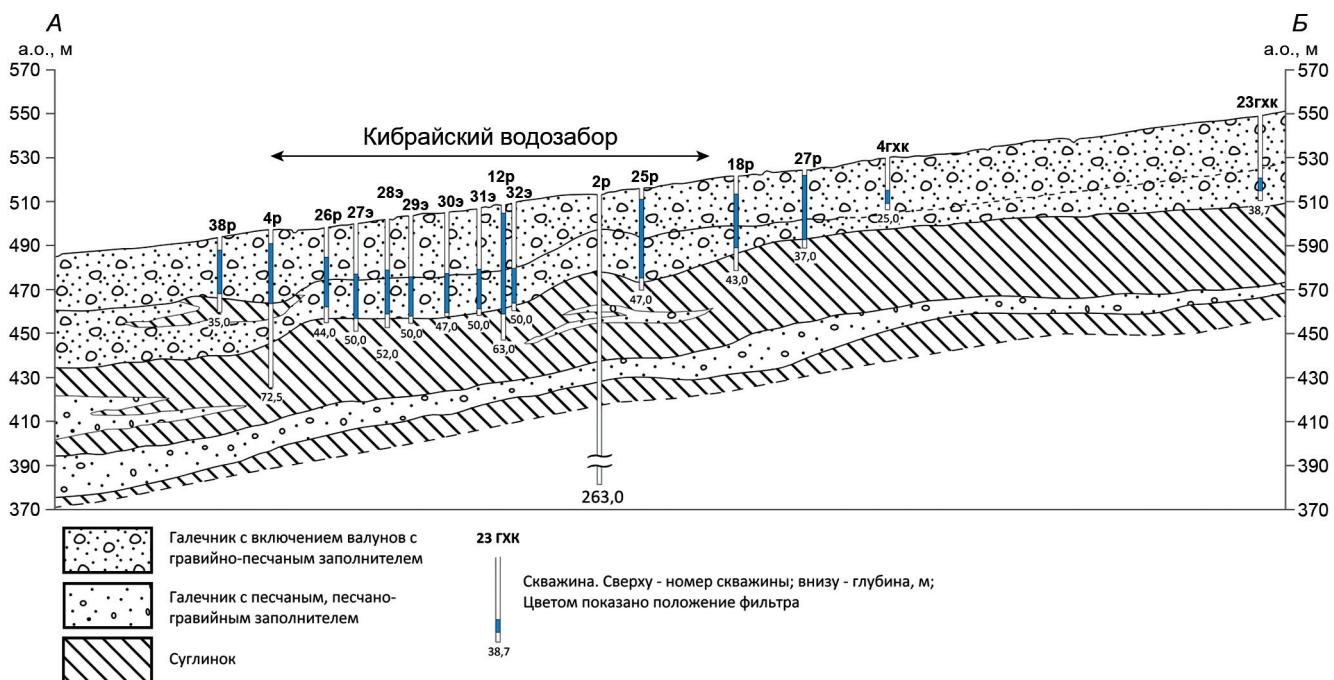


Рис. 2. Разрез по линии А-Б

остается либо стабильной, либо незначительно увеличивается.

Амплитуда колебаний уровня грунтовых вод составляет 2–7 м. Основной источник питания водоносного комплекса — инфильтрация оросительной воды, частично атмосферных осадков и фильтрация из системы искусственного восполнения. Подземные воды четвертичного комплекса частично разгружаются в р. Чирчик, частично отбираются через скважины КВС. Кроме того, существует транзитный подрусловой поток, направленный вдоль русла р. Чирчик с северо-востока на юго-запад (рис. 3).

**Методика работы.** Для решения поставленных задач была разработана численная геофильтрационная модель Кибрайского водозабора. Рассматривается стационарный геофильтрационный поток, описываемый уравнением

$$\frac{\partial}{\partial x} k_x \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k_y \frac{\partial H}{\partial y} + q(x, y) = 0,$$

где  $H$  — напор подземных вод;  $k_x$  и  $k_y$  — коэффициенты фильтрации вдоль осей  $x$  и  $y$  соответственно;  $q(x, y)$  — расход источников и стоков;  $\mu$  — коэффициент водоотдачи. Численное решение этого уравнения реализовано методом конечных разностей в программе, разработанной одним из авторов [Мирахмедов, 2011] в Национальном Университете Узбекистана на основе разработок [Хабибуллаев, 1991].

Размер участка моделирования в плане составил  $16 \times 10$  км, шаг дискретизации выбран равным 500 м. Модельная сетка ориентирована вдоль русла реки Чирчик, азимут оси  $Y$  составляет  $294^\circ$ . Верхней границей модели является поверхность земли. Нижней границей модели выбрана подошва грунтового водо-

носного горизонта. В модели он представлен одним расчетным слоем. Мощность этого водоносного горизонта известна только в пределах водозабора по результатам бурения. Мощность расчетного слоя задана одинаковой на всей модели и составила 50 м.

Модель отражает среднее меженное состояние на период с августа 2000 по август 2017 г. На внешних плановых границах задано условие II рода. Поток подземных вод в рассматриваемом водоносном горизонте направлен преимущественно вдоль реки (рис. 3).

Северо-западная и юго-восточная границы принимаются непроницаемыми. На северо-восточной границе задан приток суммарным расходом 187,3 тыс. м<sup>3</sup>/сут. На юго-западной границе задан отток суммарным расходом 115,2 тыс. м<sup>3</sup>/сут. На верхней границе задано инфильтрационное питание общим расходом 605 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Такая величина заданного питания обусловлена интенсивным орошением на большей части рассматриваемой территории. Нижняя граница задана непроницаемой.

Внутренние границы модели — река Чирчик и водозаборные скважины. Общий водоотбор Кибрайского водозабора составляет 563,7 тыс. м<sup>3</sup>/сут, из них с правобережной части 329 тыс. м<sup>3</sup>/сут, с левобережной 234,7 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Таким образом, по балансу модели общая разгрузка в реку должна составлять 113,4 тыс. м<sup>3</sup>/сут (с учетом привлечения речной воды на Кибрайском водозаборе). Это не противоречит данным [Сергеев, Пономарев, 1991], что разгрузка подземных вод на рассматриваемом участке в межень составляет в среднем 6700 м<sup>3</sup>/сут на 1 км длины с каждого берега.

Расчетные коэффициенты фильтрации заданы на основании опытно-фильтрационных работ, выполненных в эксплуатационных скважинах. Эти

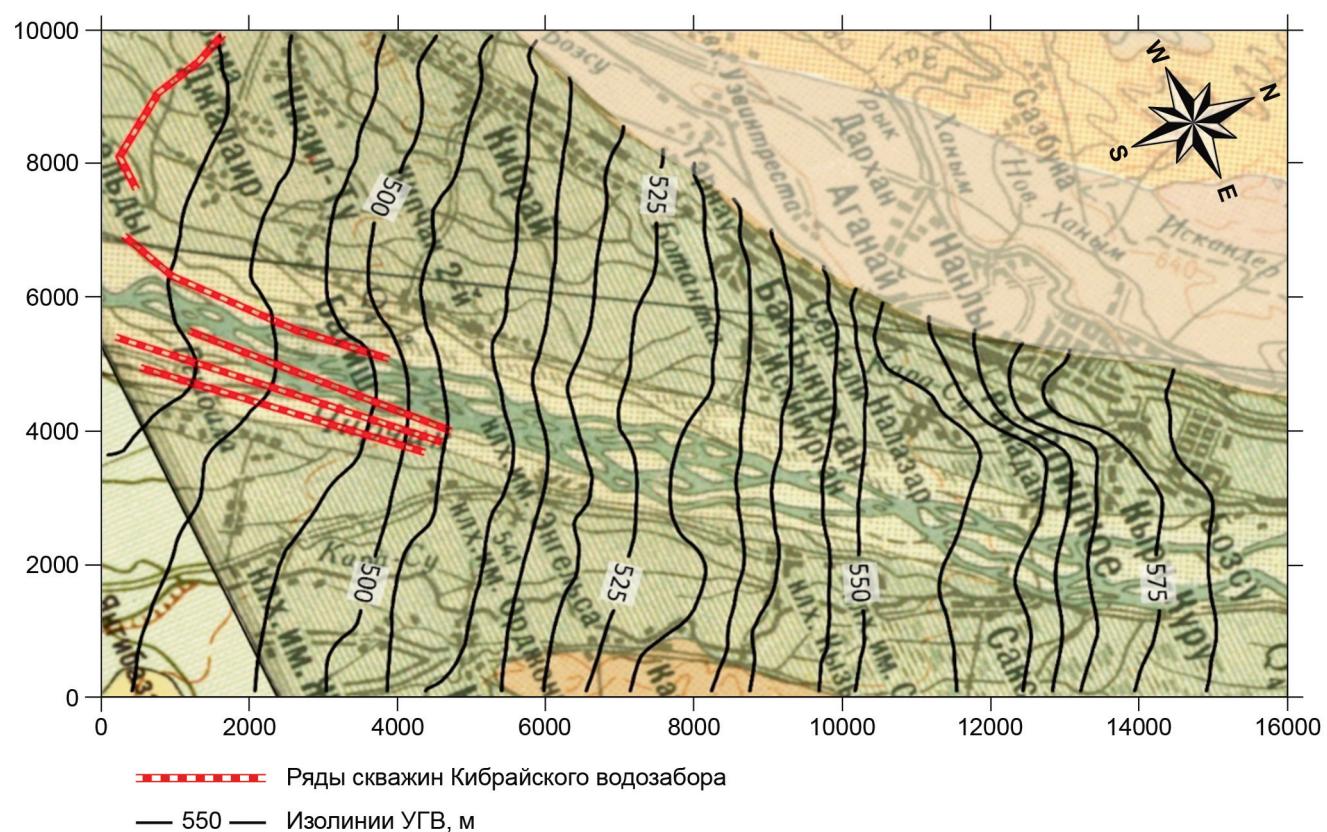


Рис. 3. Абсолютные отметки УГВ

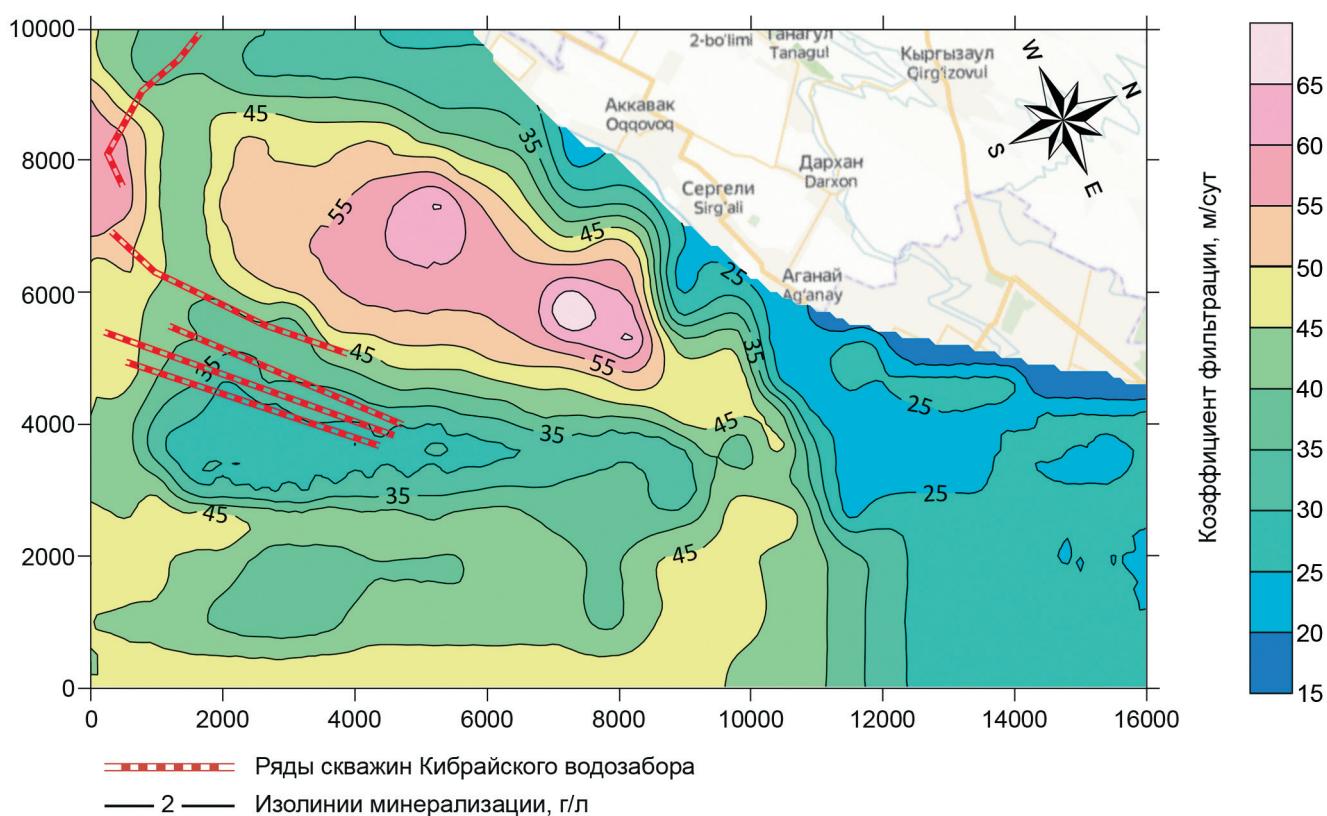


Рис. 4. Распределение коэффициентов фильтрации четвертичного горизонта

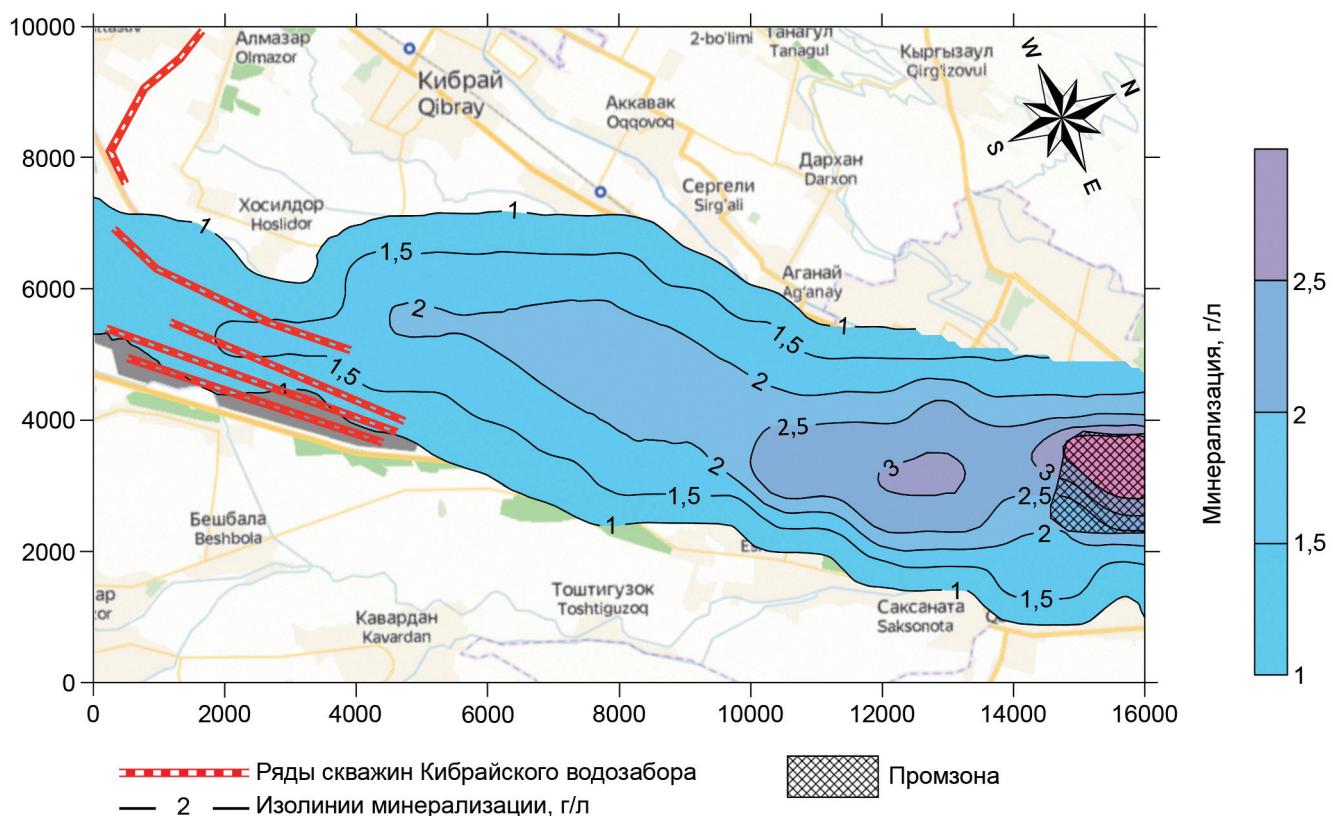


Рис. 5. Ореол загрязнения через 2,5 года для первого прогнозного сценария

значения дополнены коэффициентами фильтрации, рассчитанными на основании гранулометрического состава пород, известного по разведочным скважинам. Карта модельных коэффициентов фильтрации приведена на рис. 4.

**Результаты прогнозных расчетов.** Для решения *первой задачи* определения скорости движения загрязнения на модели задавалась начальная фоновая минерализация подземных и поверхностных вод равной 1 г/л. В качестве потенциального источника загрязнения рассматриваются заводы «Электрохимпром» и «УЗКТЖМ». Прогнозным сценарием выбрано поступление воды с минерализацией 3 г/л с инфильтрационным питанием на территории указанных заводов. Расчет на миграционной модели показал, что скорость движения загрязненных вод составляет до 5 м/сутки. Границы водозабора загрязнение достигает за 2,5 года (рис. 5).

**Второй задачей** являлась оценка изменения минерализации поверхностных вод в результате изменения минерализации подземных вод. Рассмотрен случай, когда в восточной части объекта (координаты  $x = 16\ 000$  м,  $y = 2000$  м) постоянно поступает в водоносный горизонт боковой приток в объеме 20 тыс. м<sup>3</sup>/сут (приблизительно 1% общего притока с границы) с минерализацией 8 г/л. Результаты модельных расчетов показали, что минерализация воды в реке через год доходит до 2,5 г/л (рис. 6). Минерализация воды в реке рассчитывалась арифметически, предполагая пропорциональное смешение существующего потока воды в реке (фоновая минерализация 1 г/л)

и расчетной разгрузки подземных вод в каждом расчетном блоке модели.

Для решения *третьей задачи* проводили расчет по изменению минерализации подземных вод в случае сброса стоков непосредственно в реку. Предполагается, что минерализация воды в р. Чирчик в этом случае повысится до 4,0 г/л. В этом случае загрязненные поверхностные воды в основном влияют на подземные воды левого берега р. Чирчик за счет работы водозабора и минерализация подземных вод со временем превысит до 3 г/л. (рис. 7). В дальнейшем, для прогноза загрязнения промышленными предприятиями подземных и поверхностных вод в Чирчикской долине, а именно на пойменной ее части, можно применять разработанную модель.

**Заключение.** Составлена геофильтрационная модель водоносного горизонта, которая позволила оценить изменения минерализации в условиях техногенного воздействия.

Из анализа гидрогеологических условий выявлено, что в сложившихся условиях формирование эксплуатационных запасов Чирчикского месторождения происходит главным образом за счет повышенной антропогенной инфильтрации (орошения), и в меньшей степени — за счет привлекаемых ресурсов из русла р. Чирчик.

За счет тесной взаимосвязи подземных и поверхностных вод поступление загрязненной воды только в реку Чирчик или только в водоносный горизонт за короткое время (2–3 года) приводит к повсеместному распространению загрязнения.

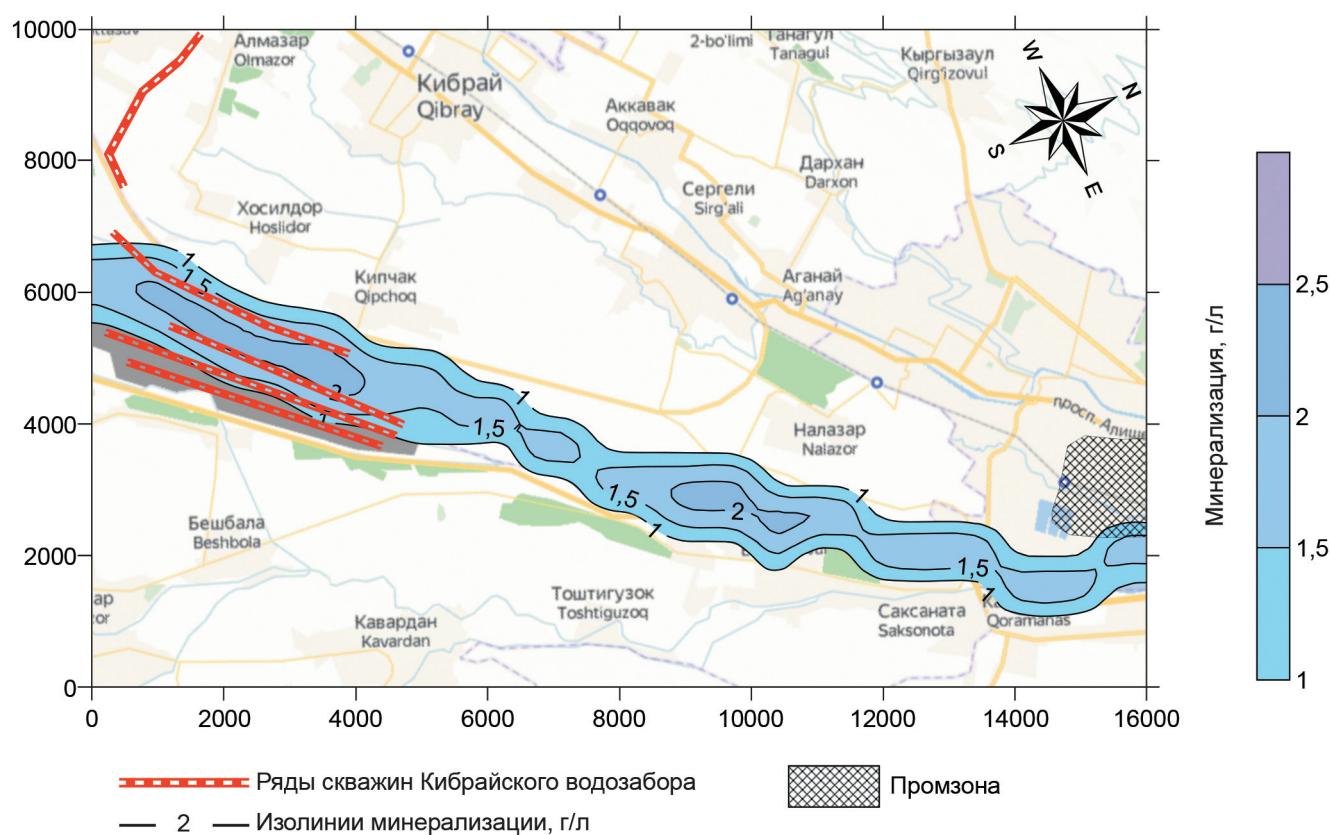


Рис. 6. Изменение минерализации поверхностных вод под влиянием подземных вод

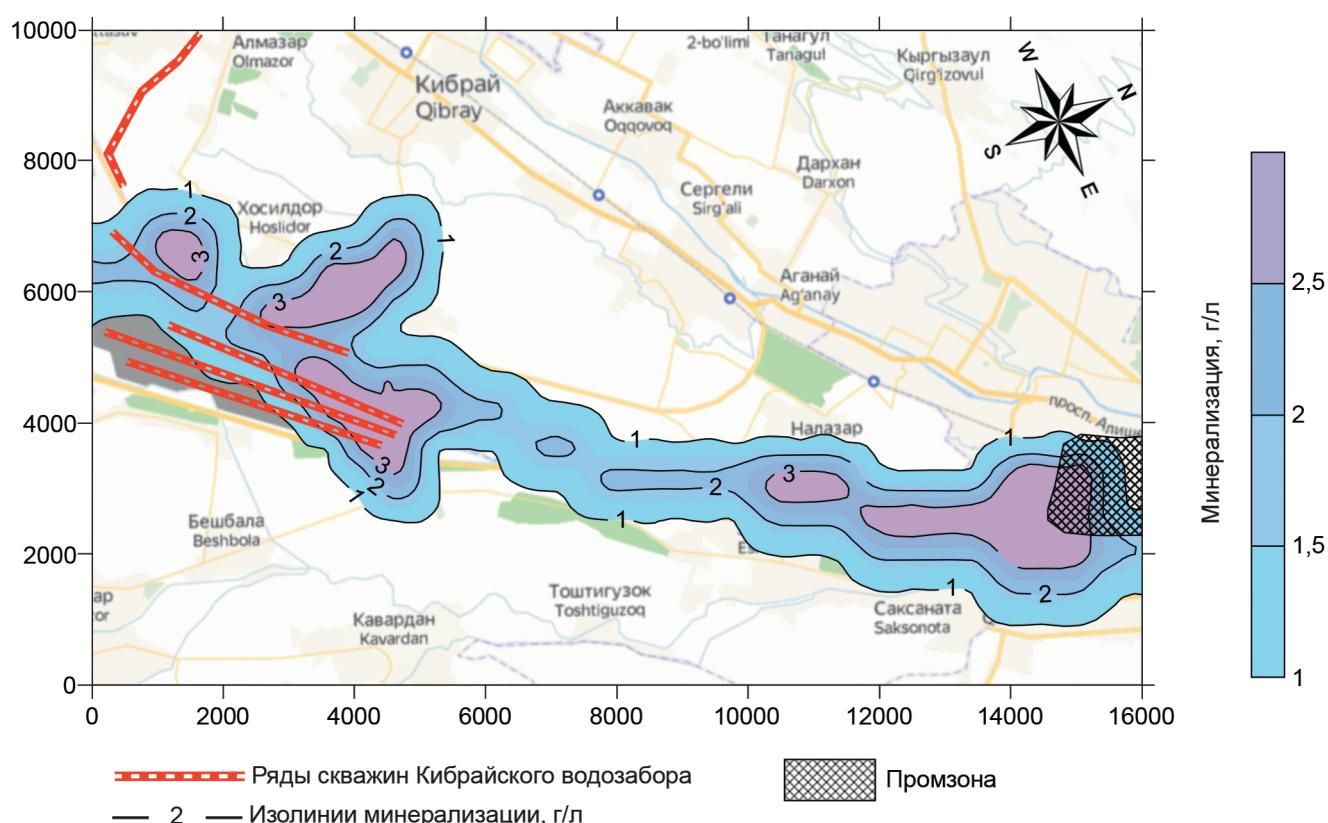


Рис. 7. Изменение минерализации подземных вод под влиянием поверхностных вод

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абуталиев Ф.Б., Усманов Р.Н. К вопросу комплексного решения задачи прогнозирования гидродинамического и гидрогеохимического режима грунтовых вод // Известия АНУзССР. Серия технических наук. 1981. 22 с.

Мирахмедов Т.Д. Адаптация геофильтрационной математической модели и решения эпигнозных и прогнозных задач (на примере Гурленского района) // Вестник НУУз. N-2/1. Ташкент, 2011. С. 62–68.

Мирахмедов Т.Д. О гидрогеологических прогнозах при оценке эксплуатационных запасов подземных вод // Вестник НУУз. N-3/2. Ташкент, 2016. С. 162–171.

Расулов Б.Т., Девяткин Е.Л., Эшанкулов О. и др. К вопросу необходимости улучшения качества воды системы

правобережного Кибрайского водозабора на Чирчикском месторождении подземных вод // Мат-лы междунаучно-практической конф. «Рациональное использование поверхностных и подземных вод бассейна Аральского моря». Ташкент: ГИДРОИНГЕО, 2003. С. 138–141.

Сергеев В.В., Пономарев В.Н. Гидрогеологическое обоснование охраны грунтовых вод речных долин. Ташкент: Фан, 1991. 144 с.

Хабибулаев И.Х. Численное моделирование фильтрации подземных вод орошаемых массивов и пакеты прикладных программ. Ташкент: Фан, 1991. 115 с.

Статья поступила в редакцию 15.03.2024, одобрена после рецензирования 21.03.2024, принята к публикации 18.08.2024