

DOI: 10.26730/1999-4125-2018-1-46-57

УДК 556.34

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ПРИМЕРЕ НИКИТИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (КУЗБАСС)

ANALYSIS OF THE METHODS OF EVALUATION OF UNDERGROUND WATER RESERVES ON AN EXAMPLE OF THE NIKITINSKY DEPOSIT (KUZBASS)

Пургина Дарья Валерьевна,
аспирант инженерной школы природных ресурсов, e-mail: purgina_darya@mail.ru
Darya V. Purgina postgraduate student,
Кузеванов Константин Иванович,
кандидат геолого-минералогических наук,
доцент инженерной школы природных ресурсов, e-mail: kki@tpu.ru
Konstantin I. Kuzevanov Cand Sc. in Earth Sciences,

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, 634050,
г. Томск, проспект Ленина дом 30.
National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia

Аннотация:

Актуальность темы исследования. Подземные воды Кузнецкого угольного бассейна играют исключительно важную роль в хозяйственной деятельности. Они широко используются для водоснабжения промышленных центров и населенных пунктов, определяя размещение производительных сил Кемеровской области, имеют огромное значение при разработке угольных, рудных и других месторождений полезных ископаемых.

Обоснование технологических схем рационального водоснабжения промышленных районов Кузбасса является в настоящее время одной из весьма актуальных проблем. Водный баланс территории испытывает существенное влияние техногенной составляющей, связанной с перераспределением водных ресурсов под влиянием водоотлива на угольных предприятиях и работы водозаборов питьевого и технического водоснабжения. В сложных гидрогеологических условиях среди существующих методов подсчета запасов подземных вод, приоритет остаётся за применением для этих целей численного гидродинамического моделирования.

Цель исследования: разработка численной модели области фильтрации на водозаборном участке с целью обоснования эксплуатационных характеристик эксплуатационных скважин на основе материалов геологоразведочных работ на подземные воды и оценки балансовых характеристик фильтрационного потока в нарушенных гидродинамических условиях под влиянием внешних граничных условий.

Задачи исследования:

- воспроизвести на численной модели структуру фильтрационного потока в естественных условиях эксплуатационного водоносного горизонта.
- оценить распределение напоров и расходов фильтрационного потока под влиянием работы эксплуатационных скважин с проектной суммарной производительностью 1500 м³/сут на конец расчетного периода (25 лет).

Методика исследования: основным методом оценки балансовых характеристик фильтрационного потока в естественных и нарушенных условиях является гидродинамическое моделирование с использованием решающего модуля MODFLOW, реализующего алгоритм численного решения дифференциального уравнения нестационарной плановой фильтрации по методу конечных разностей. В качестве вспомогательных средств предварительной подготовки исходных данных для разработки модели водозаборного участка применялись программные комплексы Surfer и AutoCad.

Результаты исследования: разработана численная гидродинамическая модель водозаборного участка, учитывающая режим работы взаимодействующих водозаборных скважин и сложный характер граничных условий участка, что позволило уточнить расчётную схему, принятую ранее при подсчёте запасов подземных вод. По результатам прогнозного гидродинамического моделирования установлено, что величина понижения уровня в скважинах не достигает абсолютных отметок уровня в реке Ур. Между рекой и скважинами образуется локальный водораздел, который при длительной эксплуата-

ции водозабора может быть смещен в сторону реки и вносит уточнение в конфигурацию зон санитарной охраны водозабора.

Abstract:

Relevance of the research topic. *Underground waters of the Kuznetsk coal basin play an exceptionally important role in economic activity. They are widely used for water supply to industrial centers and settlements, determining the location of the productive forces of the Kemerovo region, they are of great importance in the development of coal, ore and other mineral deposits.*

Justification of technological schemes of rational water supply to industrial regions of Kuzbass is currently one of the most urgent problems. The water balance of the territory is significantly affected by the technogenic component associated with the redistribution of water resources under the influence of mine drainage at coal enterprises and the operation of water intake for drinking and technical water supply. In complex hydrogeological conditions, among the existing methods for calculating groundwater reserves, the priority is the application of numerical hydrodynamic modeling for these purposes.

The purpose of the study is to develop a numerical model of the filtration area in the water intake area in order to justify the operational characteristics of production wells based on geological exploration data on groundwater and to assess the balance characteristics of the filtration flow in disturbed hydrodynamic conditions under the influence of external boundary conditions.

The main objectives of the study:

- Reproduce on a numerical model the structure of the filtration flow in the natural conditions of the operational aquifer;

- Assess the distribution of head and flow rates of the filtration flow under the influence of the operation wells with a projected total capacity of 1500 m² / day at the end of the calculation period (25 years).

Research Methodology: *The main method for estimating the balance characteristics of the filtration flow under natural and disturbed conditions is the hydrodynamic simulation using the MODFLOW solver, which implements the algorithm for the numerical solution of the differential equation of nonstationary planar filtration using the finite difference method. As an auxiliary means of preliminary preparation of the initial data for development of the model of the water intake area, Surfer and AutoCad software complexes were used.*

Results of the study *a numerical hydrodynamic model of the water intake area was developed, taking into account the operation mode of the interacting water intake wells and the complex nature of the boundary conditions of the site, which made it possible to clarify the calculation scheme adopted earlier in calculating groundwater resources. Based on the results of the predictive hydrodynamic simulation, it is established that the value of the level reduction in the wells does not reach the absolute level marks in the Ur River. Between the river and the boreholes, a local watershed is formed, which, if the water intake is used for a long time, can be shifted towards the river and introduces a clarification into the configuration of the sanitary protection zones of the water intake.*

Ключевые слова: *подземный водозабор, инфильтрационное питание, Кузбасский адартезианский бассейн, эпигнозная модель, прогнозная модель, граничные условия, водный баланс.*

Key words: *underground water supply, infiltration recharge, water inflow, Kuzbass adartesian basin, epignotic model, predictive model, boundary conditions, water balance.*

Введение

Важнейшей хозяйственной проблемой является обеспечение населения питьевой водой надлежащего качества и в необходимом количестве, для создания комфортных условий жизни [1,2]. Решение задач хозяйственно-питьевого водоснабжения в большинстве развитых стран основано на использовании ресурсов подземных вод, которые отличаются более высокой степенью защищённости от загрязнения по сравнению с поверхностными водными объектами [3,4].

При подсчете запасов подземных вод наиболее часто используется гидродинамический метод, который несмотря на ряд весьма очевидных достоинств (относительная простота расчётов, наличие готовых решений для типовых расчётных схем) неспособен учитывать весь спектр внешних

граничных условий (пространственную неоднородность фильтрационных параметров, наличие инфильтрационного питания, сложную форму граничных условий и др.). По этой причине на практике нередко завышается величина расчетного понижения, что приводит к погрешностям в оценке запасов подземных вод (ЗПВ). В современных условиях при подсчете ЗПВ гидрогеологами [5,6,7,8] все чаще используются методы численного моделирования, которые заметно расширяют возможности прогнозных расчётов. Авторами предпринята попытка провести сравнительный анализ двух методов подсчёта запасов подземных вод на участке Никитинского месторождения подземных вод.

Объект, материалы и методы исследования

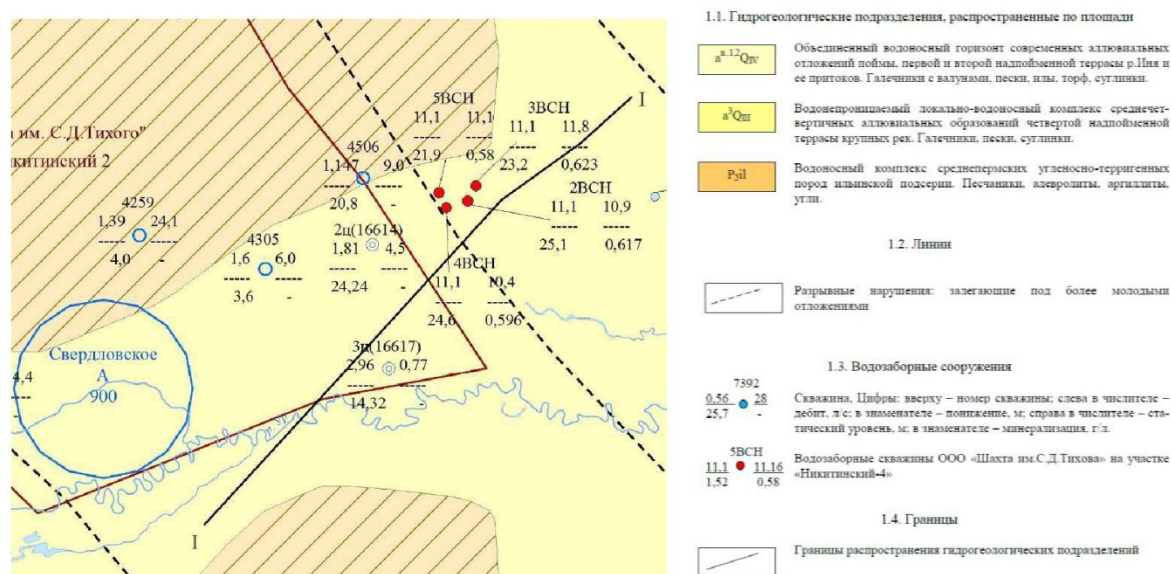
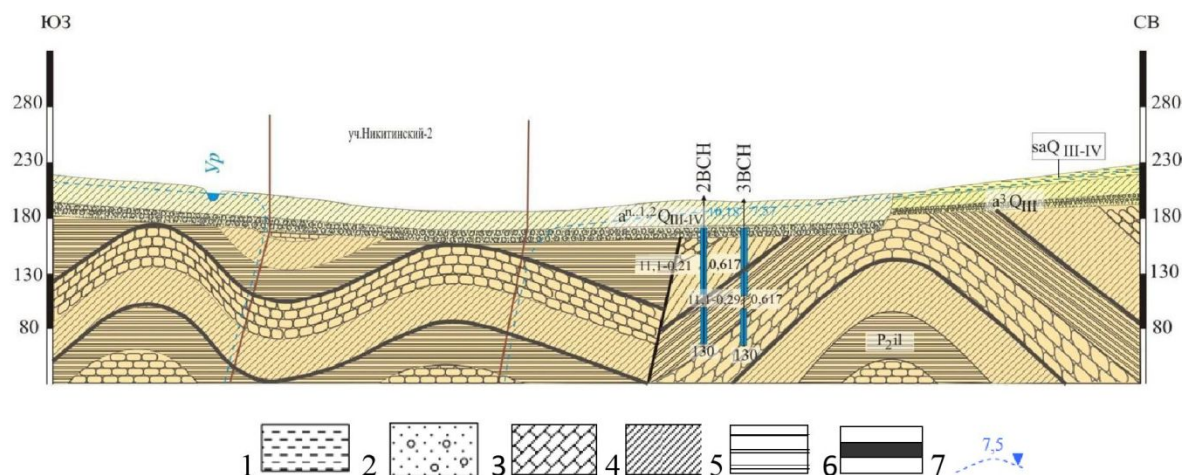


Рис. 1. Фрагмент гидрогеологической карты

Fig. 1. Hydrogeological map.



1 – суглинки, 2 – гравийно-галечниковые отложения, 3 – песчаники, 4 – алевролиты, 5 – аргиллиты, 6 – уголь, 7 – уровень подземных вод

Рис. 2. Гидрогеологический разрез по линии I-I.

Fig. 2. Hydrogeological section.

В качестве исходных данных для анализа гидрогеологических условий использовались материалы по подсчету запасов подземных вод на участке недр «Никитинский 4» Никитинского месторождения, где предприятием ООО «Центр гидрогеологических исследований» в 2013-2014 годах были проведены геологоразведочные работы с целью подсчета балансовых запасов питьевых подземных вод.

Для оценки фильтрационных параметров водовмещающих отложений в процессе проведения полевых работ выполнен комплекс необходимых исследований, включающий сбор, анализ и обобщение имеющихся архивных данных, а также об-

работка фактического материала, полученного в полевых условиях. Проведено санитарно-экологическое обследование территории выполнена кустовая откачка из скважины № 4BCH и пробные откачки из трех других гидрогеологических скважин.

Основным методом оценки балансовых характеристик водозаборного участка являлось численное моделирование [12] в сравнении с результатами подсчета запасов подземных вод, полученными при использовании гидродинамического метода.

Гидрогеологические условия месторождения подземных вод

Участок работ расположен на юго-востоке

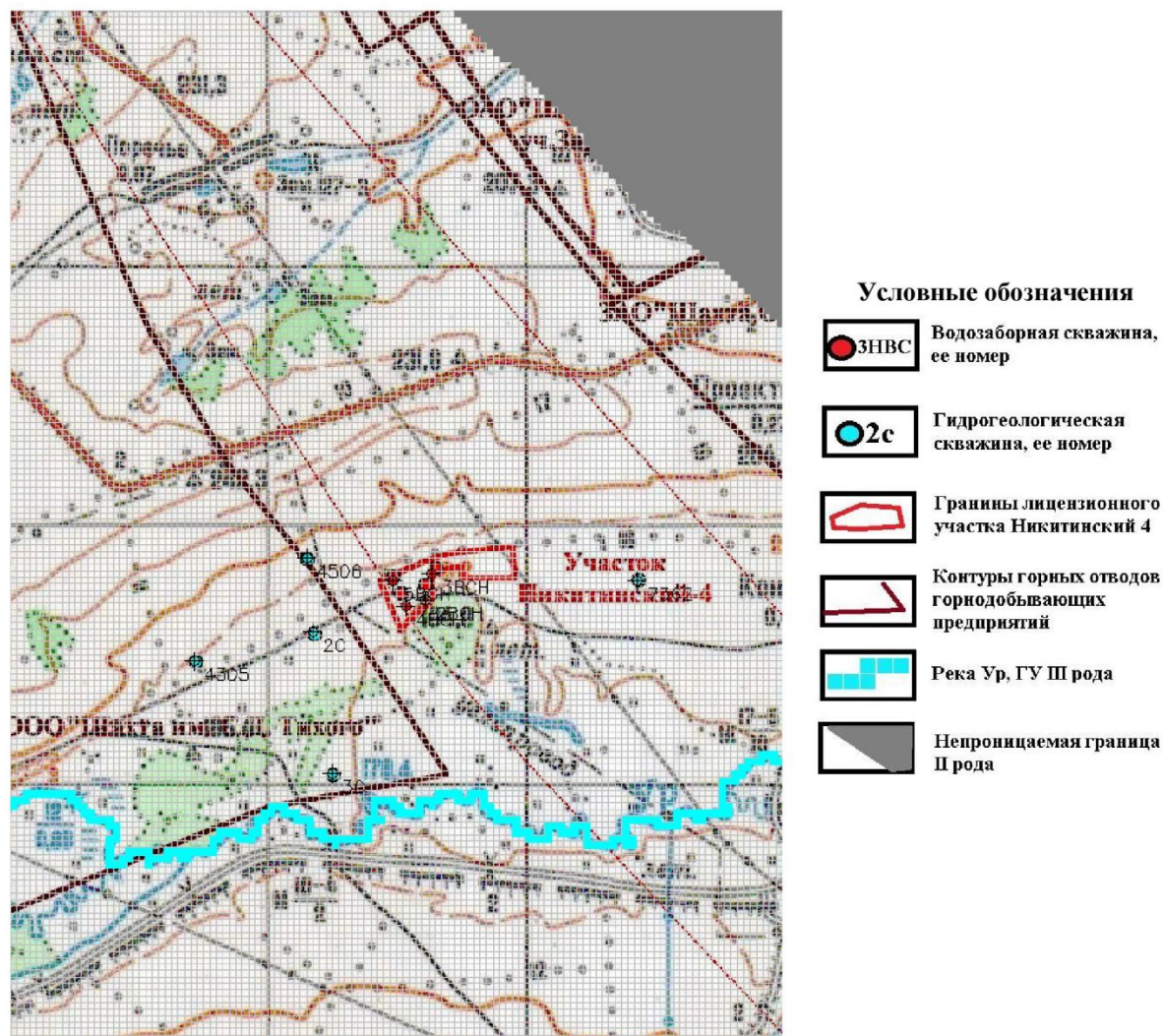


Рис. 4 Схематизация граничных условий области численного моделирования
Fig. 4. The boundary conditions of the domain of numerical simulation.

Ленинск-Кузнецкого района Кемеровской области, в 3,2 км западнее поселка Конево и в 3,5 км юго-восточнее поселка Поречье, на левом склоне долины р.Ур. По геолого-гидрогеологическому районированию рассматриваемый участок приурочен к западной окраине Кузнецкого бассейна пластово-блоковых вод, а в его пределах к площади распространения водоносного комплекса среднепермских отложений ильинской подсерии. В кровле водоносного комплекса залегают верхнечетвертичные современные аллювиальные отложения р.Ур (Рис. 1,2) [6].

Водоносный комплекс верхнечетвертичных-современных аллювиальных отложений поймы, первой, второй и третьей надпойменных террас р. Ини и ее притоков (a^3Q_{III-IV}).

Водоносный комплекс современных-верхнечетвертичных аллювиальных отложений поймы, первой и второй надпойменных террас развит в долине реки Иня и ее притоков. По гипсометрическому положению цоколей и мощности перекрывающих отложений русловой фации все они представляют единый, гидравлически взаимо-

связанный горизонт, подошва которого на 2,0-7,0 м залегает ниже меженного уреза воды в реке. Водовмещающие отложения представлены осадками русловой фации пойменных, первых, вторых и третьих надпойменных террас – мелким, средним, реже крупным галечником, песком с супесчано-суглинистым заполнителем (до 30-40%). Глубина залегания комплекса колеблется от 3-5 до 15-20 м, увеличиваясь от русла реки к борту долины. Воды безнапорные, очень редко слабонапорные. Напоры местные не более 1,5 м, обуславливаемые взаимосвязью с напорными водами нижележащих водоносных зон и наличием в кровле комплекса суглинистых осадков, выполняющих роль местных водоупоров. Водообильность отложений неравномерная и невысокая, зависящая в основном от степени промытости русловой фации и ее состава. Расходы родников изменяются от 0,004 до 0,2 л/с. Удельные дебиты скважин составляют около 0,5 л/с при понижении 2,5 м. Коэффициенты фильтрации варьируют в широких пределах и равны 0,04-12,1 м/сут, коэффициенты водопроводимости – 0,1-65,0 м²/сут. По химиче-

скому составу воды гидрокарбонатные кальциевые, пресные с минерализацией до $1,0 \text{ мг/дм}^3$. Питание водоносный комплекс получает в основном за счет инфильтрации атмосферных осадков, инфильтрации паводковых вод на поймах, а также за счет напорных вод нижележащих водоносных комплексов. Разгрузка происходит в местную гидросеть.

Водоносный комплекс средне-пермских отложений ильинской подсерии (P_{2il}) пользуется широким распространением в рассматриваемом районе.

Подземные воды приурочены к верхней трещиноватой толще (зона активного водообмена) развитой до глубины 100 – 120 м. В разрезе этой толщи выделяются отдельные зоны повышенной трещиноватости, к которым, в основном, и приурочены подземные воды. По результатам геофизических исследований в разрезе выделяется до 3-8 водоносных зон, разделенных слабо трещиноватыми породами. Глубина залегания первых от поверхности земли водоносных зон составляет 10-30 м, мощность каждой зоны в среднем 8-10 м, суммарная – 28-80 м. Ввиду отсутствия в разрезе выдержанных водоупоров водоносные зоны гидравлически связаны между собой. Кровля водоносного комплекса залегает на глубине от 8,5 – 20,8 м в долине р. Ур до 73,6 м на водораздельной поверхности. Водовмещающие отложения комплекса представлены переслаивающейся толщей алевролитов, песчаников, аргиллитов, углей. По типу циркуляции подземные воды относятся к трещинным, от слабо напорных до безнапорных. Напор на склонах и водоразделах отсутствует, редко достигая 2-5 м, в долинах и логах его значения колеблются в пределах 5-23 м. Уровни подземных вод на водоразделах и склонах устанавливаются на глубинах до 43-47 м, в долинах рек и логах – в интервалах 0,5-15,0 м. Пьезометрическая поверхность в общих чертах повторяет рельеф местности. Водообильность пород неоднородна как в плане, так и в разрезе и зависит от литологического состава водовмещающих пород, степени их трещиноватости и глубины залегания. Наибольшую обводненность имеют песчаники в зоне выветривания и тектонических нарушений. Прочие литологические разности пород менее водоносны, а слои аргиллитов практически водоупорны. Дебиты скважин, вскрывающих водоносный комплекс в рассматриваемом районе, изменяются от 0,004 до 11,39 л/с при понижениях соответственно 11,0 и 45,9 м. Наиболее обводнены отложения в депрессиях рельефа (в долине р. Ур удельные дебиты скважин достигают 0,2-0,5 л/с) и значительно меньше – на водоразделах и склонах. Коэффициент водопроводимости пород изменяется от 0,2-30 до 40-68 м²/сут., увеличиваясь на локальных участках до 119-173 м²/сут. Коэффициент фильтрации пород изменяется от 0,007 до 1,87 м/сут,

при среднем значении 0,57 м/сут. С глубиной параметры водоносного комплекса, характеризующие степень обводненности пород, резко снижаются. На глубинах свыше 120-150 м коэффициенты фильтрации не превышают значений 0,002-0,08 м/сут., редко достигая 0,5 м/сут, водопроводимость – 0,1-1,8 м²/сут. Обводненность пород в зонах разрывных нарушений, типа открытых взбросов существенно выше. Питание подземных вод инфильтрационное за счет атмосферных осадков. Разгрузка осуществляется в местную гидрографическую сеть. Естественная структура потока деформируется искусственными дренами – шахтами и разрезами. По химическому составу подземные воды гидрокарбонатные кальциевые, магниевые-кальциевые или смешанные по катионному составу, пресные или слабо солоноватые с минерализацией 1 – 1,5 г/дм³, от жестких с величиной жесткости 6-120Ж, слабощелочные с величиной рН- 7,4-8,6. В целом по химическому составу и бактериологическим показателям вода, на ненарушенных антропогенной деятельностью участках, соответствует требованиям питьевых кондиций, либо требует незначительной дополнительной водоподготовки.

В районе активно осуществляется разработка угольных месторождений шахтами. Западнее участка в 500 м располагается лицензионный отвод шх. Тихова, восточнее протягивается серия разрабатываемых шахт, в том числе шахты Сибирской, шахты Октябрьской, шахты Заречной. Горные выработки этих шахт располагаются на расстоянии около 2,5 км.

Схематизации граничных условий участка

Расчетная схема с использованием метода численного моделирования представляет собой территорию общей площадью 48 км², которая разбита на блоки размером 50×50 м (рис. 4), разрез представлен четырьмя расчетными слоями. Все внешние границы модели соответствуют условиям второго рода (непроницаемый контур), роль внутренней границы с постоянным напором играет р. Ур.

Подсчёт эксплуатационных запасов подземных

Для определения прогнозируемого понижения скважин на период работы водозабора гидродинамическим методом, на основании полученных при выполнении опытной откачки гидрогеологических параметров произведен расчет прогнозного понижения уровня вод – 25 лет, при этом предусматриваются равномерные нагрузки на три водозаборные скважины (скв. 3ВСН, 5ВСН и 4ВСН). Потребность в воде для хозяйственно-питьевого водоснабжения объектов предприятия составляет 1500 м³/сут и распределяется по 500 м³/сут на каждую из скважин, а 4-я скважина будет выступать в качестве резервной.

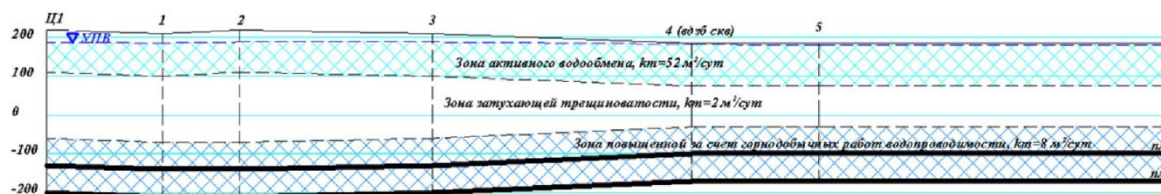


Рис. 5. Схематический гидрогеологический разрез
Fig. 5. Hydrogeological section.

Для расчета возможного снижения уровня вод в рабочей скважине в процессе эксплуатации водозабора производится его расчет с учетом параметров, полученных на стадии опытных работ. Для расчета понижения в скважине в условиях ограниченного пласта границей II рода (непроницаемая граница с расходом $Q = 0$ на удалении 300 м), за которую приняты выработки шахты им С.Д. Тихова, и границей третьего рода – р. Ур, расположенной в 1400 м, с учетом руслового со-

расчетный слой представляет зону затухания открытой трещиноватости в горно-складчатом массиве пород, имеет мощность 70 м с низкой водопроницаемостью, не превышающей $2 \text{ м}^3/\text{сут}$. Третий расчетный слой создан с целью выделения зон повышенной трещиноватости за счет ведения горнопроходческих работ с повышенными значениями водопроницаемости, гравитационной и упругой водоотдачи при средней мощности 60 м. Четвертый расчетный слой выполняет роль подстилаю-

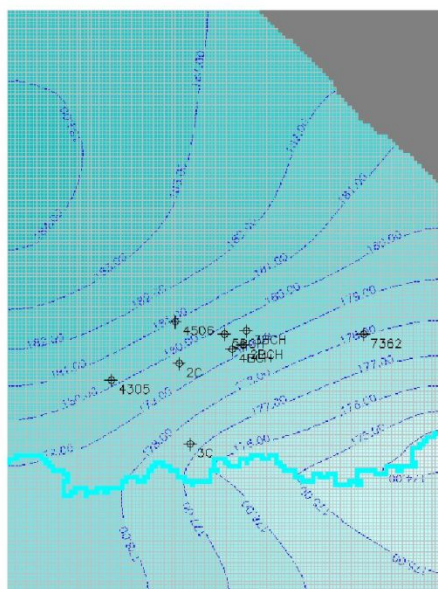


Рис. 6. Карта модельных напоров в естественных условиях по результатам калибровки
Fig. 6. Model heads map in natural conditions by calibration results.

противления, выраженного в виде сдвига уреза реки ($\Delta L = 600 \text{ м}$) удаленность границы с постоянным напором принимается равной 2000 м.

Полученное значение понижения уровня в наиболее нагруженной эксплуатационной скважине № 4ВСН составляет 38,01 м, что меньше допустимого предела 67,3 м, следовательно, запасы подземных вод в количестве $1500 \text{ м}^3/\text{сут}$ можно считать обеспеченными.

На гидродинамической модели области фильтрации водовмещающая толща представлена четырьмя расчетными слоями (рис. 5). Первый расчетный слой соответствует первому от поверхности напорно-безнапорному водоносному горизонту трещиноватых пород, его мощность варьирует от 170 на водоразделе до 100 м в районе р. Ур, со средним значением водопроницаемости $50 \text{ м}^2/\text{сут}$, и характеризует зону активного водообмена. Вторым

основания с минимальными значениями проницаемости пород. Все фильтрационные и емкостные параметры приняты по материалам отчета по подсчету запасов подземных вод, предоставленным главным геологом ООО «Шахты им. С.Д. Тихова» Г.В. Мальцевым.

Область моделирования в плане покрыта равномерной конечно-разностной сеткой с шагом 50 м по двум пространственным направлениям. Внешние границы модели представлены граничными условиями (ГУ) II рода, что соответствует непроницаемому контуру. Внутренней границей является русло реки Ур, имеющее восточное направление. Уровень поверхностных вод варьирует от 182 до 178 абс.м., за период с 1983 по 2006 год максимальный (в паводок) расход в р. Ур (гидропост с. Подгорная) составил $78,8 \text{ м}^3/\text{с}$, минимальный (меженный) расход не превышает

№ скв.	УПВ	УПВ (Мод)	1 УПВ (Мод)	2 УПВ (Мод)	3 УПВ (Мод)	4 УПВ (Мод)
4506	181,53	183,15 (1,62)	181,25 (0,28)	180,7 (0,83)	181,32 (0,21)	181,1 (0,43)
4305	181,05	182,15 (1,1)	180,6(0,45)	179,94 (1,11)	180,42 (0,63)	180,18 (0,87)
2ц(16614)	179,99	181,92 (1,93)	180,07 (0,08)	179,38 (0,61)	179,93 (0,06)	179,66 (0,33)
3ц(16617)	176,56	179,8 (3,24)	178,22 (1,66)	177,25 (0,69)	177,55 (0,99)	177,38 (0,82)
7362	177,54	181 (3,46)	178,26 (0,72)	177,77 (0,23)	178,33 (0,79)	178,06 (0,52)
2ВСН	178,93	181,7 (2,77)	179,55 (0,62)	178,8 (0,13)	179,5 (0,57)	179,19 (0,26)
3ВСН	178,64	182 (3,36)	179,87 (1,23)	179,2 (0,56)	179,9 (1,26)	179,56 (0,92)
4ВСН	178,48	181,7 (3,22)	179,64 (1,16)	178,95 (0,47)	179,5 (1,02)	179,25 (0,77)
5ВСН	178,74	182 (3,26)	180 (1,26)	179,93 (1,19)	180,1 (1,36)	179,76 (1,02)

Рис. 7. Фрагмент таблицы напоров в контрольных скважинах, полученных в результате калибровки модели (в скобках указана погрешность значений)

Fig. 7. Fragment of the pressure table in control wells obtained as a result of model calibration.

0,32 м³/с, годовая амплитуда колебания уровня воды в реке составляет 3,75 м при глубине 1,7 – 2 м. Оценка степени гидравлического несовершенства русла реки получена в процессе калибровки модели.

Для восстановления напорного поля в естественных условиях была решена обратная геофильтрационная задача в стационарной постановке [6]. В результате получено расчётное поле напоров (рис. 6).

фильтрационных параметров и гидравлическое сопротивление подрусловых отложений (рис. 7).

В процессе калибровки были выявлены поля фильтрационных неоднородностей как в плане, так и в разрезе (рис. 8). Показано, что фильтрационные свойства зоны активного водообмена зависят от абсолютных отметок рельефа [14], максимальные значения коэффициента фильтрации приурочены к участкам речной долины, а его минимальные значения соответствуют водораздель-

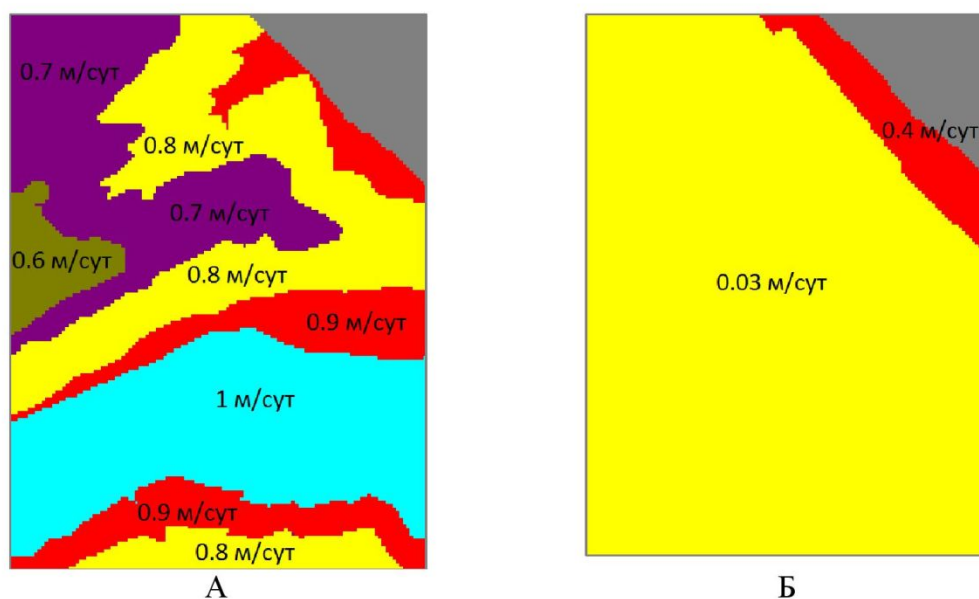


Рис. 8. Зоны фильтрационной неоднородности (А – Кф 1 водоносный слой; Б – Кф 3 водоносный слой)

Fig. 8. Filtration zone inhomogeneity.

(А – transmissivity 1 sloy, Б – transmissivity 3 sloy)

В качестве основных критериев точности численного решения приняты уровни подземных вод в наблюдательных скважинах (9 скв.). Калибровка модели осуществлялась при корректировке таких параметров как: интенсивность инфильтрационного питания, пространственное распределение

ным пространствам. Зоны повышенной трещиноватости, формирующиеся за счет ведения горнопроходческих работ выделены в третьем расчетном слое модели.

Одной из важнейших составляющих водного баланса территории [15], является величина

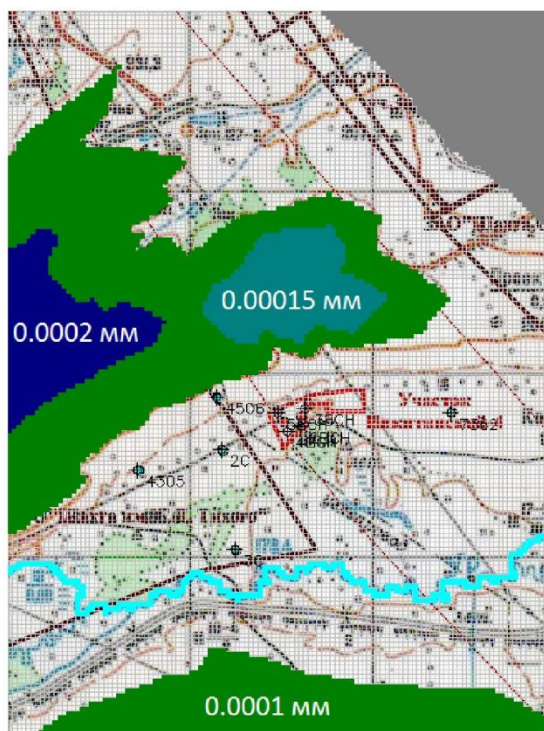


Рис. 9. Карта распределения зон питания водоносного комплекса.
Fig. 9. Recharge zone map of the aquifer.

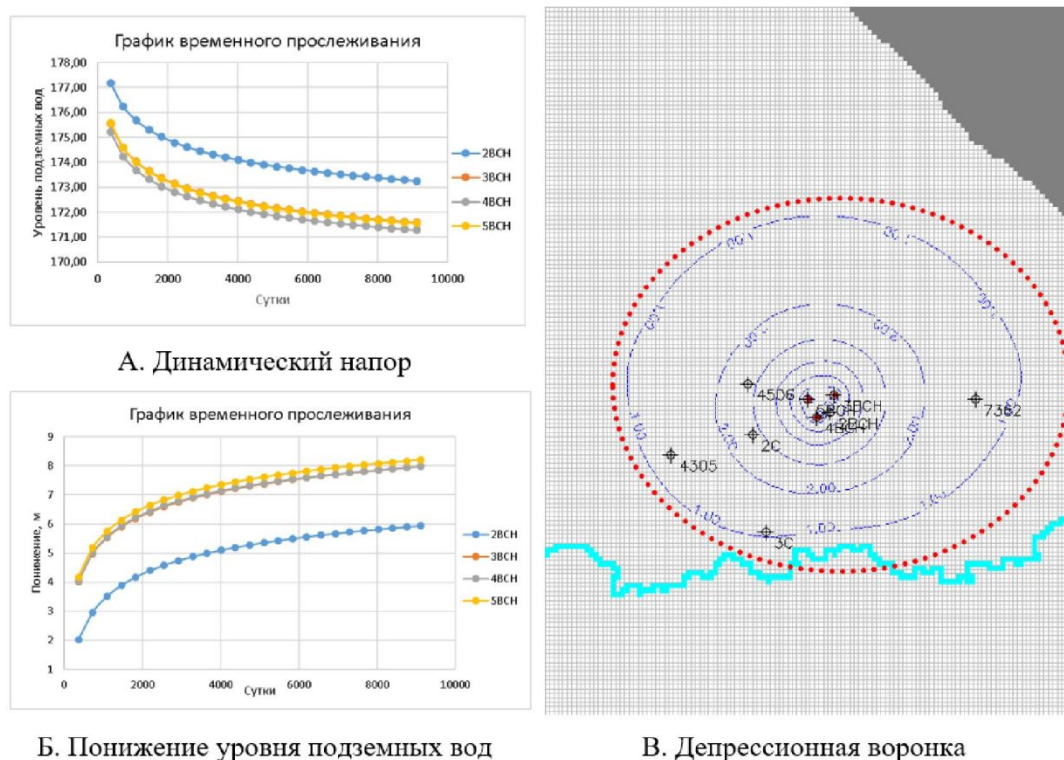


Рис. 10. Результаты прогнозного моделирования понижений уровня подземных вод на расчетный период 9125 суток (25 лет)
Fig. 10. Predictive modeling results.

инфильтрационного питания водоносных горизонтов. Инфильтрационное питание верхней части

гидрогеологического разреза на участке исследования формируется полностью за счет инфильтра-

ции атмосферных осадков. В соответствии с обобщением данных режимных наблюдений (Макушин и др. [16,17]), авторами задана интенсивность дополнительного питания, составившая 14% от среднегодовой величины суммы атмосферных осадков.

В процессе калибровки модели интенсивность дополнительного питания уточнялась целенаправленным подбором и контролировалась по напорам в наблюдательных скважинах. Полученная картина пространственного распределения величины инфильтрации (рис. 9) показывает, что её максимальная интенсивность формируется на участках наиболее пологого рельефа (в нашем случае это водораздел). Минимальное питание подземные воды получают на склонах, что объясняется большими скоростями поверхностного стока.

Прогнозное моделирование работы водозабора выполнено после завершения калибровки мо-

3ВСН – 7,99 м, № 4ВСН – 7,98 м, № 5ВСН – 8,21 м). Для перехода от понижения уровня в ячейке к понижению уровня в скважине необходим дополнительный расчет [21]:

$$H_6 - H_c = Q * \Phi_c^0 \quad (4)$$

$$\Phi_c^0 = \frac{1}{2\pi T} \left(L n \frac{\Delta x}{r_c} - 1,62 \right) \quad (5)$$

где H_6 – напор в блоке;

H_c – напор воды в скважине;

Q – дебит скважины, м³/сут;

Φ_c^0 – фильтрационное сопротивление в скважине;

T – водопроницаемость, м²/сут

Δx – ширина блока

r_c – радиус скважины

С учётом поправки на дополнительное сопротивление фильтров скважин, равной 7,32 м, при максимальной суммарной производительности водозабора в 1500 м³/сут понижение в скважинах:

Таблица 1 - Водный баланс участка в условиях нарушенного режима фильтрации

Table 1 - Water balance of the region in conditions of the violated mode of a filtration

№ зоны	Зона балансовой оценки	Питание, м ³ /сут	Река (ГУ III рода) м ³ /сут		Водо-забор	Емкость		Нарушен-ные ресурсы м ³ /сут	Привлекае-мые ресурсы м ³ /сут
		Приход (+)	+	Потеря (-)		+	-		
	Сумм	1679,63	0	1173,75	1500	993,95	0	2673,58	993,95
1	река Ур	0	0	1173,75	0	4,88	0	4,88	4,88
2	Водоносный горизонт (1 слой)	1679,38	0	0	0	903,12	0	2582,495	903,12
3	Скважина 3ВСН	0	0	0	500	0	0	0	0
4	Скважина 4ВСН	0	0	0	500	0	0	0	0
5	Скважина 5ВСН	0	0	0	500	0	0	0	0
6	Водоносный горизонт (2 слой)	0	0	0	0	48,24	0	48,24	48,24
7	Водоносный горизонт (3 слой)	0	0	0	0	18,79	0	18,79	18,79
8	Водоносный горизонт (4 слой)	0	0	0	0	18,92	0	18,92	18,92
	Σ	1679,38	0	1173,75	1500	993,95	0	2673,325	993,95

дели, в результате которой получено пространственное распределение напоров в условиях естественного фильтрационного потока. На численной модели запущены в работу три водозаборные скважины суммарный расход которых составил 1500 м³/сут, что соответствует заявленной потребности в подземных водах. Решение получено в нестационарной постановке на расчетный период 25 лет (9125 суток) (рис. 10) [18, 19, 20].

В результате моделирования получены значения напоров под влиянием работы водозабора. В точках заложения скважин получено усредненное значение понижения уровня подземных вод по расчётной ячейке конечно-разностной сетки (№

№ 3ВСН; № 4ВСН; № 5ВСН составит соответственно: 15,31 м; 15,3 м; 15,53 м, что меньше допустимой величины 67,3 м. Результаты моделирования показывают, что водоотбор 1500 м³/сут так же, как и при гидродинамическом методе обеспечен запасами подземных вод.

Анализ водного баланса численной модели позволяет сделать следующие выводы (Таблица 1) [6]. Величина естественных ресурсов в целом составляет 1679,375 м³/сут. При этом все ресурсы формируются за счет инфильтрационного питания, зоной же разгрузки служит река Ур. При введении в эксплуатацию водозабора, естественный баланс модели нарушается, вследствие чего воз-

никает величина привлекаемых ресурсов, составившая 993,95 м³/сут, формирующаяся из емкостных запасов водоносных горизонтов (1-й водоносный горизонт (в.г.) – 903,12 м³/сут, 2-й в.г. – 48,24 м³/сут, 3-й в.г. – 18,79 м³/сут, 4-й в.г. – 18,92 м³/сут) и реки Ур. 4,88 м³/сут (Таблица 1). Величина суммарных нарушенных ресурсов, при этом, на расчетный период 25 лет, составила 2673,58 м³/сут.

Влияние реки Ур на формирование эксплуатационных запасов подземных вод в скважинах водозабора практически не прослеживается, что говорит о том, что основные источники формирования запасов подземных вод связаны непосредственно за счёт естественных запасов водовмещающих пород и восполняемых ресурсов за счёт инфильтрационного питания, общее количество которого превышает суммарный водообор.

Важно отметить, что в непосредственной близости от водозабора - на расстоянии 600 м, располагается Никитинское угольное месторождение, начало разработки которого планируется во второй половине 2018 года. Это ставит первоочередную проблему влияния шахтного водоотлива на запасы подземных вод. В качестве задач дальнейших исследований на первое место выходит исследование влияния шахтного поля на работу водозабора на стадии эксплуатационной разведки подземных вод.

Выводы

1. Рассмотрены гидрогеологические условия месторождения подземных вод. По геолого-гидрогеологическому районированию рассматриваемый участок приурочен к западной окраине Кузнецкого бассейна пластово-блоковых вод, а в его пределах к площади распространения водоносного комплекса среднепермских отложений ильинской подсерии. В кровле водоносного комплекса залегают верхнечетвертичные современные аллювиальные отложения р.Ур. На основе обобщения материалов геологоразведочных работ выполнена схематизация гидрогеологических условий для целей численного моделирования.

2. Разработана гидродинамическая модель области фильтрации средствами программного комплекса PMWIN. На этапе решения эпигнозной геофильтрационной задачи выполнена калибровка модели. Это позволило уточнить пространствен-

ную неоднородность распределения фильтрационных параметров, изменчивость по площади интенсивности инфильтрационного питания и фильтрационного сопротивления подрусловых отложений р. Ур.

3. На численной гидродинамической модели решена прогнозная нестационарная геофильтрационная задача и получены балансовые характеристики фильтрационного потока в нарушенных условиях под влиянием работы водозабора с суммарной производительностью 1500 м³/сут на расчетный срок 25 лет. Установлена ведущая роль инфильтрационного питания в восполнении запасов подземных вод. Балансовая характеристика водозаборного участка показывает, что естественных ресурсов в количестве 1679,63 м³/сут превышают прогнозную производительность водозабора 1500 м³/сут, полностью обеспечивая восполнение эксплуатационных запасов подземных вод на месторождении.

4. Результаты численного моделирования позволили уточнить влияние граничных условий на работу водозабора по сравнению с прогнозными расчётами в рамках гидродинамического метода, которым учитывалась ведущая роль привлекаемых ресурсов за счёт поверхностных вод р. Ур.

5. Результаты моделирования показывают, что возможность учета на модели граничных условий, плохо поддающихся оценке в рамках гидрогеологических расчетов, позволяет существенно уточнить расчетную схему и оценить вклад отдельных балансовых характеристик фильтрационного потока в формировании эксплуатационных запасов подземных вод. Практическая значимость исследования заключается в формировании рекомендаций к методике изучения гидрогеологических условий методами численного моделирования, что позволяет получить качественные фильтрационные параметры.

6. Полученные поля фильтрационных неоднородностей подтверждают одно из защищаемых положений кандидатской диссертации Макушина Ю.В. о тесной взаимосвязи поверхности рельефа с поверхностью уровней подземных вод, что может рекомендовать методику гидродинамического численного моделирования для районов со слабой гидрогеологической изученностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рогов Г.М., Попов В.К. Гидрогеология и катагенез пород Кузбасса – Томск: Изд-во Томск, ун-та, 1985.–11,1л.
2. Методические рекомендации по оценке эксплуатационных запасов питьевых и технических подземных вод по участкам недр, эксплуатируемых одиночными водозаборами. - М., НППФ ГИДЭК, 2002.
3. Румынин В.Г., Филин Р.А. К вопросу об изменении качества подземных вод на водозаборах. - Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2007. №2. С. 16-26.
4. Huntush M. S. Hydraulics of wells//Chow V. T. (Ed.). Advances in Hydrosience. 1964.
5. Михневич Г.С. Особенности формирования качества вод на инфильтрационном водозаборе в по-

селке озерки (калининградская область) Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 9-2. С. 233-240.

6. Штенгелов Р.С. Эпигнозный анализ опыта эксплуатации приречного водозабора - Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2007. № 5. С.52-59.

7. Sun, Hongliang; Liu. Yakun. Theoretical and experimental study on the vortex at hydraulic intakes// Journal Of Hydraulic Research – 2015. Vol: 53, №: 6. P: 787-796.

8. Irimia, Oana; Tomozei, Claudia; Lehadus, Mirela Panainte. A mathematical model on the efficiency of the mechanical water filtering process//16th International Multidisciplinary Scientific Geoconference (SGEM 2016), Albena, BULGARIA JUN 30-JUL 06, 2016 Vol: 2, P: 695-702.

9. Elmoustafa, AM Evaluation of water intake location suitability using hydrodynamic modeling - River Flow 2014 P.: 2259-2266

10. Zindovic. B.; Jovanovic, M.; Radomir, K. Numerical simulation of flow field in the vicinity of the water intake Waterpower engineering/ – 2010. Vol: 42, №: 4-6. P: 157-163.

11. Козырев В.И., Мальфанова О.С. Определение гидрогеологических параметров на участках недр, эксплуатируемых одиночными водозаборами в западной части Западно-Сибирского мегабассейна. - Академический журнал Западной Сибири. 2015.Т. 11. №5 (60). С. 17-18.

12. Шестаков В.М. Мониторинг подземных вод - принципы, методы, проблемы//Геоэкология. 1993. № 6. С. 3-11.

13. Плотников Н.И. Поиски и разведка пресных подземных вод// Недр, Москва, 1985 г., 370 стр.

14. Gridasov, A. Hydrogeological condition patterns of Kuznetsk Basin coalbed methane fields for estimating hydrodynamic calculations / A. Gridasov, K. Kuzevanov, A. Bogdanova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2016. - Vol. 43, № 1.-P. 12022.

15. Маслов А.А., Штенгелов Р. С. Типизация баланса эксплуатационных запасов подземных вод//Вод. ресурсы. 2004. Т. 31 №5. С. 517-525.

16. Лыготин В.А., Савичев О.Г., Макушин Ю.В. Многолетние изменения среднесезонных и среднегодовых уровней и температуры подземных вод верхней гидродинамической зоны в Томской области // Геоэкология. – 2010. - № 1. – С. 23-29.

17. Савичев О.Г., Макушин Ю.В. Многолетние изменения уровней подземных вод верхней гидродинамической зоны на территории Томской области // Известия Томского политехнического университета, 2004, Т. 307, № 4, С. 60-63

18. McMillan, Lindsay A.; Rivett, Michael O.; Tellam, John H. Influence of vertical flows in wells on groundwater sampling // 8th International-Association-of-Hydrological-Sciences Groundwater Quality Conference (GQ) - Univ Florida, Gainesville, FL.: APR 21-26, 2013

19. Houben, Georg J. Review: Hydraulics of water wells-flow laws and influence of geometry/- Hydrogeology Journal - 2015. Vol: 23, №: 8. P: 1633-1657

20. Qi, Shengqi; Hou, Deyi; Luo, Jian Optimization of groundwater sampling approach under various hydrogeological conditions using a numerical simulation model // Journal Of Hydrology – 2017 Vol: 552, P: 505-515.

21. Ломакин Е.А., Мироненко В.А., Шестаков В.М. Численное моделирование геофильтрации. Недр, Москва, 1988 г., 228 стр.

REFERENCES

1. Rogov G.M., Popov V.K. Gidrogeologiya i katagenez porod Kuzbassa – Tomsk: Izd-vo Tomsk, un-ta, 1985.–11,11.

2. Metodicheskie rekomendacii po ocenke ehkspluatacionnyh zaspos pit'evyh i tekhnicheskikh podzemnyh vod po uchastkam neдр, ehkspluatiruemyh odinochnymi vodozaborami. - М., NPPF GIDEHK, 2002.

3. Rumynii V.G., Filin R.A. K voprosu ob izmenenii kachestva podzemnyh vod na vodozaborah. - Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Nauki o Zemle. 2007. №2. S. 16-26.

4. Huntush M. S. Hydraulics of wells//Chow V. T. (Ed.). Advances in Hydrosience. 1964.

5. Mihnevich G.S. Osobennosti formirovaniya kachestva vod na infil'tracionnom vodozabore v poselke ozerki (kaliningradskaya oblast') Aktual'nye problemy gumanitarnyh i estestvennyh nauk. 2015. № 9-2. S. 233-240.

6. SHtengelov P.C. EHpignoznyj analiz opyta ehkspluatacii prirechnogo vodozabora - Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 4: Geologiya. 2007. № 5. S.52-59.

7. Sun, Hongliang; Liu. Yakun. Theoretical and experimental study on the vortex at hydraulic intakes// Journal Of Hydraulic Research – 2015. Vol: 53, №: 6. P: 787-796.

8. Irimia, Oana; Tomozei, Claudia; Lehadus, Mirela Panainte. A mathematical model on the efficiency of

the mechanical water filtering process//16th International Multidisciplinary Scientific Geoconference (SGEM 2016), Albena, BULGARIA JUN 30-JUL 06, 2016 Vol: 2, P: 695-702.

9. Elmoustafa, AM Evaluation of water intake location suitability using hydrodynamic modeling - River Flow 2014 P.: 2259-2266

10. Zindovic. B.; Jovanovic, M.; Radomir, K. Numerical simulation of flow field in the vicinity of the water intake Waterpower engineering/ – 2010. Vol: 42, №: 4-6, P: 157-163.

11. Kozyrev V.I., Mal'fanova O.S. Opredelenie gidrogeologicheskikh parametrov na uchastkakh neдр, ehkspluatiruemykh odinochnymi vodozaborami v zapadnoj chasti Zapadno-Sibirskogo megabassejna. - Akad-emicheskij zhurnal Zapadnoj Sibiri. 2015.T. 11. №5 (60). S. 17-18.

12. SHestakov V.M. Monitoring podzemnykh vod - principy, metody, problemy//Geoehkologiya. 1993. № 6. S. 3-11.

13. Plotnikov N.I. Poiski i razvedka presnykh podzemnykh vod// Nedra, Moskva, 1985 g., 370 str.

14. Gridasov, A. Hydrogeological condition patterns of Kuznetsk Basin coalbed methane fields for estimating hydrodynamic calculations / A. Gridasov, K. Kuzevanov, A. Bogdanova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2016. - Vol. 43, № 1.-P. 12022.

15. Maslov A.A., SHtengelov R. S. Tipizaciya balansa ehkspluatacionnykh zaspos podzemnykh vod//Vod. resursy. 2004. T. 31 №5. S. 517-525.

16. L'gotin V.A., Savichev O.G., Makushin YU.V. Mnogoletnie izmeneniya srednesazonnykh i sredne-godovykh urovnej i temperatury podzemnykh vod verhnej gidrodinamicheskoy zony v Tomskoj oblasti // Ge-oehkologiya. – 2010. - № 1. – S. 23-29.

17. Savichev O.G., Makushin YU.V. Mnogoletnie izmeneniya urovnej podzemnykh vod verhnej gidro-dinamicheskoy zony na territorii Tomskoj oblasti // Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2004, T. 307, № 4, S. 60-63

18. McMillan, Lindsay A.; Rivett, Michael O.; Tellam, John H. Influence of vertical flows in wells on groundwater sampling // 8th International-Association-of-Hydrological-Sciences Groundwater Quality Conference (GQ) - Univ Florida, Gainesville, FL.: APR 21-26, 2013

19. Houben, Georg J. Review: Hydraulics of water wells-flow laws and influence of geometry/- Hydrogeol-ogy Journal - 2015. Vol: 23, №: 8, P: 1633-1657

20. Qi, Shengqi; Hou, Deyi; Luo, Jian Optimization of groundwater sampling approach under various hy-drogeological conditions using a numerical simulation model // Journal Of Hydrology – 2017 Vol: 552, P: 505-515.

21. Lomakin E.A., Mironenko V.A., SHestakov V.M. CHislennoe modelirovanie geofil'tracii. Nedra, Mos-kva, 1988 g., 228 str.

Поступило в редакцию 02.02.2018

Received 02.02.2018