

А.А. Буйских¹, В.А. Басистый²

(¹Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН,

²Северо-Восточная научно-исследовательская мерзлотная станция
Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН (филиал);
e-mail: agan@neisri.ru, gydrogeo@mail.ru)

ОЦЕНКА МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ДЛЯ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Аннотация. Приводятся результаты математического моделирования распределения уровня грунтовых вод в подрусловом талике в зависимости от интенсивности забора воды из скважин и карьера. Расчёты показали, что выбранная схема расположения скважин вдоль таликовой зоны реки и режим водозабора обеспечат требуемые для развития горно-обогатительного комбината объемы воды.

Ключевые слова: золоторудное месторождение, подземные воды, эксплуатационные скважины, водозабор, подрусловый талик, численное моделирование.

A.A. Buyskikh, V.A. Basisty

EVALUATION BY THE METHOD OF MATHEMATICAL MODELING OF THE EXPLOITATION RESOURCES OF UNDERGROUND WATERS OF THE GOLD ORE DEPOSIT

Abstract. The author gives the results of mathematical modeling of the level of underground waters distribution in the underflow talik depending on the drawoff intensity from holes and open pit. The accounts showed that the chosen scheme of holes distribution along the talik zone of the river and hydraulic works regime will provide the volume of water necessary for the development of the ore-mining and processing enterprise.

Key words: gold ore deposit, underground waters, exploitation holes, hydraulic works, underflow talik, numerical modeling.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 25 сентября 2010 г.

Введение

На территории Магаданской области в Тенькинском районе в 380 км от г. Магадан расположен пос. Омчак. В настоящее время посёлок является базовым для строительства горно-обогатительного комбината (ГОКа) на Наталкинском золоторудном месторождении – крупнейшем на сегодняшний день в России по запасам золота, где уже производятся горные работы. Разрабатывать его планируется открытым способом. На сегодняшний день посёлок обеспечивается водой из скважины, расположенной в талике р. Омчак, с дебитом 1000-1500 м³/сут.

Для проектируемого развития градообразующего предприятия – Наталкинского ГОКа – дополнительно потребуется выполнять водозабор в объемах 2520 м³/сут. на этапе строительства ГОКа с 2013 года, 3600 м³/сут. на втором этапе с 2017 года и 5880 м³/сут. на последнем этапе с 2022 года. Существую-

щий уже водозабор не сможет обеспечить такие объемы воды. В этой ситуации задача организации качественного водоснабжения населенного пункта и горного производства является крайне актуальной.

Начиная с 8-10 года после начала эксплуатации Наталкинского месторождения планируется вскрытие подмерзлотной водоносной зоны трещиноватости, и в карьере начнутся водоотливные работы, которые окажут определённое влияние на водозабор. Данный фактор учитывался при оценке запасов подземных вод.

Выполненные в 1993-2005 гг. ООО "Гидрогеолог" исследования фильтрационных свойств, химического состава и обводнённости пород на территории будущего ГОКа до отметок +450 – +100 м (местной системы высот) позволили обосновать геофильтрационную модель проектируемого водозабора на р. Омчак в условиях карьерного водоотлива.

Методами математического моделирования были проведены прогнозные расчёты динамики уровней подземных вод в таликовой зоне р. Омчак в зависимости от интенсивности водозабора, обеспечивающего требуемые для горного предприятия объемы воды. Модельные расчёты позволили оценить безопасные в смысле обеспеченности пресными водами условия жизни и развития территории будущего ГОКа.

Содержательная и математическая постановка задачи

Наталкинское золоторудное месторождение с конца 1945 года (момента создания рудника им. Матросова) до 2005 года обрабатывалось подземным способом. В 2004 году была выполнена оценка принципиально новой концепции отработки Наталкинского месторождения золота – открытым способом. Средняя глубина проектируемого карьера должна составлять 600 м.

Бассейн реки Омчак находится в области сплошного развития многолетнемерзлых пород (ММП). В днище долины реки в верхнем и среднем её течении развита сквозная таликовая зона, к которой приурочено Омчакское месторождение пресных подземных вод. Талик прослежен от золото-извлекательной фабрики им. Матросова вверх по течению реки до устья ручья Ытыган. Ширина талика изменяется от 100 до 500 м, длина составляет 10 км. Контакты таликовой зоны с ММП в основном крутые, в верхней части разреза они выполаживаются и сквозной талик переходит в надмерзлотный.

Расчётная область фильтрации в плане имеет размеры $6 \times 11,6 \text{ км}^2$ и включает зону подруслового талика реки Омчак и зону будущего карьера.

В пределах Омчакского месторождения геофильтрационная схема представлена тремя водоносными пластами.

Пласт 1 включает в себя водоносную зону четвертичных аллювиальных отложений, средняя мощность которого составляет 3,0 м. Здесь приняты: коэффициент фильтрации $k = 15 \text{ м/сут.}$; водоотдача $\mu = 0,14$; уклон потока $b = 0,01$; направление движения потока – вниз по долине р. Омчак.

Пласт 2 включает в себя таликовую водоносную зону трещиноватости (ВЗТ) верхнепермских отложений мощностью 150 м. Расчётные параметры

пласта получены путём анализа результатов кустовых и одиночных откачек, выполненных в критический период питания март-май 1969-1986 годов и составляют: $k = 0,3$ м/сут.; $\mu = 0,009$; $b = 0,01$. Общее направление подземного потока ВЗТ зимой и летом – к р. Омчак и далее вниз по долине.

Пласт 3 представлен локально-водоносной зоной трещиноватости (ЛВЗТ) верхнепермских отложений. По материалам поисково-разведочных работ 1980-2006 гг. были получены фильтрационные и емкостные параметры ЛВЗТ. Охарактеризовать изменчивость этих величин по площади не представляется возможным, поэтому в геофильтрационной схеме этот пласт задаётся с постоянными коэффициентом фильтрации $k = 0,07$ м/сут. и $\mu = 0,002$. При расчёте коэффициента фильтрации принята истинная мощность проницаемой трещиноватой части пород ЛВЗТ, установленная по результатам каротажных исследований скважин. Направление подмерзлотного потока ЛВЗТ – от долины р. Омчак к контуру проектного карьера. Уклон потока 0,005.

Границы расчётных пластов в разрезе выделены по возрастным геологическим границам и на основе особенностей литологического строения, а также мерзлотных условий разреза.

В геофильтрационной схеме Омчакского месторождения на краях области моделирования задавались граничные условия второго рода, обеспечивавшие непроницаемость границ. Эксплуатируемые и расчётные скважины задавались как внутренние отрицательные источники в модели.

Для моделирования неустановившейся фильтрации подземных вод в случае кусочно-однородной среды и наклонного водоупора использовано уравнение типа Дюпюи-Буссинеска [1, 2] в форме:

$$\mu \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[k(h)h \left(\frac{\partial h}{\partial x} + b \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[k(h)h \frac{\partial h}{\partial y} \right] + F,$$

где h – мощность фильтрационного потока, связанная с напором H соотношением $h = H - bx$ (рис. 1); b – уклон водоносных пластов; $k(h)$ – коэффициент фильтрации; μ – водоотдача; F – источник; x, y – координаты; t – время.

В качестве функции источника здесь выступали дебиты водозаборных скважин. Так как область фильтрации представляла собой слоистую среду, то для двухслойного случая коэффициент фильтрации и водоотдача определялись следующим образом:

$$\mu = \begin{cases} \mu_1, h \geq h_2, \\ \mu_2, h < h_2, \end{cases}$$

$$k(h) = \begin{cases} \frac{k_1(h - h_1) + k_2 h_2}{h}, & h \geq h_2 \\ k_2, & h < h_2 \end{cases}.$$

Приведённое дифференциальное уравнение решалось конечно-разностным методом [3, 4].

Схема решения задачи состояла из циклически повторяющихся двух этапов. На первом этапе краевая задача решалась для области, содержащей только

подрусловый талик. Схема продольного сечения талика приведена на рис. 1. На этом этапе рассматривалось два слоя: аллювий (средняя мощность 3 м) и водо-трещиноватая зона (средняя мощность 150 м). Вдоль талика располагались 8 водозаборных скважин с различным дебитом, меняющимся от 700 до 1000 м³/сут.

Начало расчётного процесса совпадало с водонасыщением горных пород подруслового талика весенними водами (середина мая). Использовалась нерегулярная разностная сетка с шагами от 25 до 100 м. После вычисления распределения напора вдоль русла реки и определения депрессионной поверхности эти величины использовались на втором этапе расчёта напоров грунтовых вод на всей расчётной площади, включающей русло реки и будущий карьер.

На этом этапе моделировалось взаимодействие водоносных толщ подруслового талика и нижележащего слоя ЛВЗТ, водозабора из скважин и водооттока в карьер. На этом этапе использовалась регулярная разностная сетка с шагом 200 м. Затем расчётный цикл повторялся снова на новом временном шаге. При этом изменившееся распределение напоров грунтовых вод в районе подруслового талика использовалось как начальное приближение для вновь повторяющегося первого этапа.

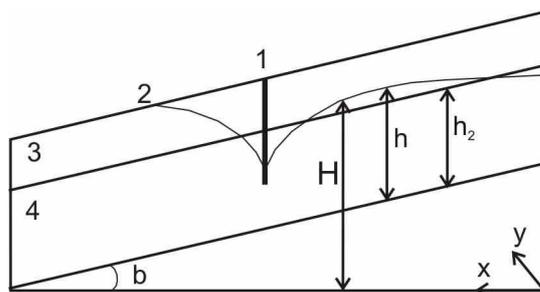


Рис. 1. Вертикальный разрез зоны подруслового талика:
 1 – скважина; 2 – депрессионная кривая; 3 – слой аллювия; 4 – слой ЛВЗТ;
 H – расстояние от линии сравнения до депрессионной кривой;
 h – мощность водоносного слоя; h_2 – мощность слоя ЛВЗТ;
 b – уклон водоносных пластов; x, y – координатные оси

Расчётный период с середины октября до середины мая считался бессточным (214 суток 95 % обеспеченности), аллювиальный водоносный горизонт сухой. Это обстоятельство определялось краевыми условиями: по границам расчётной области на этот период задавалось равенство нулю краевых условий второго рода. В летний период года на верхней и нижней границах расчётной области (верхний и нижний участок русла реки соответственно) и между скважинами задавался наивысший уровень грунтовых вод, совпадающий с дневной поверхностью. На боковых границах – равенство нулю краевых условий второго рода. Таким образом, летний и зимний расчётные периоды отличались видом краевых условий и распределением поля напора в плане.

Оценка максимально возможного водоотбора на Омчакском месторождении выполнялась по результатам моделирования на двух расчётных интервалах времени. На первом 10-летнем интервале, когда в условиях отработки Наталкинского месторождения после вскрытия подмерзлотных вод дно карьера углубляется до отметки дренажного горизонта +400 м в 2023 году. И последующем 21-летнем интервале, когда осушение карьера осуществляется с глубины +140 м до окончания разработки карьера в 2044 году. Это обстоятельство учитывалось поэтапной сменой краевых условий.

Для подруслового талика (мощность вместе с аллювиальным слоем принималась равной 153 м) на всём расчётном интервале времени на верхней и нижней границах задавалось краевое условие: $h = 153$ м летом; $\frac{\partial h}{\partial x} = 0$ зимой.

На боковых границах $\frac{\partial h}{\partial y} = 0$.

На этапе расчёта распределения напора по всей изучаемой площади на всём расчётном интервале времени на границах задавалось краевое условие: $\frac{\partial h}{\partial n} = 0$, где n – внутренняя нормаль к границе. Однако здесь на первом 10-летнем интервале времени начальное поле напора определялось из условия перепада в уровнях грунтовых вод в 370 м (от наивысшей точки +770 м до отметки +400 м – дно карьера). На последующем 21-летнем интервале времени вход в процедуру расчёта распределения напора выполнялся с условием перепада в уровнях грунтовых вод в 630 м (от наивысшей точки +770 м до отметки +140 м – дно карьера на тот момент времени).

Обсуждение результатов численного моделирования

Расчёты показали, что при наличии водозабора из карьера и из скважин с дебитами: в первых 6-ти скважинах по 1000 м³/сут., в скважине №7 800 и в скважине № 8 – 700 м³/сут. обеспечивалось распределение понижения уровней подземных вод в скважинах от 50 до 62 м, не переходя предела допустимого понижения в 65 м. При этом параметры модели имели следующие значения: мощность ВТЗ 150 м; $\mu_{ВТЗ} = 0,009$; $\kappa = 0,3$ м/сут.; мощность ЛВТЗ 220 м (первые 10 лет) либо 480 м (последующее время); $\mu_{ЛВТЗ} = 0,002$; $\kappa = 0,07$ м/сут.

Рекомендуемая схема размещения водозаборных сооружений приведена на рис. 2 и включает 8 скважин. Помимо уже имеющихся на месторождении предлагается дополнительное бурение 5-ти скважин ударно-канатным способом глубиной не менее 100 м с производительностью не менее 960 – 1440 м³/сут.

Математическое моделирование показало возможность извлечения из подземных вод Омчакского месторождения 7,5 тыс. м³/сут. воды при понижениях уровней, не превышающих допустимые. Проектные дебиты водозаборных скважин подтверждены результатами эксплуатации действующих и опробования разведочных скважин.

Расчёты показали, что в летний период времени с 15 мая по 15 октября ежегодно происходит подъём уровней до 1-3 м от поверхности, что соответствует опыту эксплуатации скважин водозабора.

За общие эксплуатационные запасы Омчакского месторождения пресных подземных вод принимается расчётная величина запасов $7,5 \text{ тыс. м}^3/\text{сут.}$

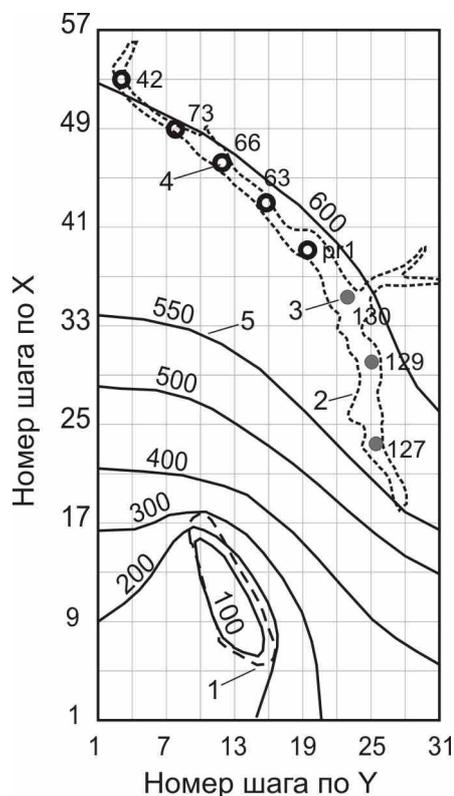


Рис. 2. Распределение напоров в расчётной воронке депрессии к 2044 году:
 1 – контур дна карьера; 2 – контур сквозного талика;
 3 – действующая скважина и её номер; 4 – проектная скважина и её номер;
 5 – линии равных напоров (значения даны в м);
 на координатных осях указаны номера шагов разностной сетки

Заключение

1. Общие эксплуатационные запасы Омчакского месторождения пресных подземных вод, полученные по результатам анализа ранее проведенных поисково-разведочных гидрогеологических работ, анализа работы действующего водозабора и выполненного математического моделирования, составляют $7,5 \text{ тыс. м}^3/\text{сут.}$ Из них по категориям: А – 2,4; В – 2,1; С1 – $2,9 \text{ тыс. м}^3/\text{сут.}$

2. В результате выполненных работ подтверждена возможность водоотбора $2520 \text{ м}^3/\text{сут.}$ из действующих скважин Омчакского водозабора (скважины 127, 129, 130) на первой очереди строительства проектируемого предприятия (2013 – 2017 годы).

3. Для обеспечения расчётной потребности питьевой воды в течение 2013-2017 годов необходимо ввести в действие пять дополнительных эксплуатационных скважин.

4. Гидродинамическое влияние карьера на проектные водозаборные скважины незначительное: на 31 (2044 год) год отработки прогнозируется дополнительное понижение уровня воды от 0,8 м (скважина 42) до 8,9 м (скважина 127). Прогнозные понижения уровней меньше допустимого в 65 м.

Литература

1. **Бэр Я., Заславски Д., Ирмей С.** Физико-математические основы фильтрации воды. М.: Изд-во Мир, 1971. 452 с.

2. **Основы гидрогеологии.** Гидрогеодинамика / Гавич И.К., Ковалевский В.С., Язвин Л.С. и др. Новосибирск: Наука, 1983. 241 с.

3. **Берковский Б.М., Ноготов Е.Ф.** Разностные методы исследования задач теплообмена. Минск: Изд-во Наука и техника, 1976. 143 с.

4. **Самарский А.А.** Теория разностных схем. М.: Наука, 1977. 654 с.