

*Рачков С.И.*

**ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ  
СРЕДСТВ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАПАСОВ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД СО СЛОЖНЫМИ  
ГИДРОГЕОДИНАМИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ**

*S.I. Rachkov*

**APPLICATION OF CURRENT PROGRAM FUNDS FOR THE  
ASSESSMENT OF USE OF RESERVES DEPOSITS GROUNDWATER  
WITH COMPLEX TERMS HYDRO**

УДК: 556.324

*Показаны возможности использования современных программных средств моделирования геофильтрации при решении гидрогеологических задач в сложных гидродинамических условиях без проведения калибровок модели решением стационарных и эпигнозных задач.*

*Possibilities of use of modern software of modelling of a geofiltration are shown at the decision of hydro-geological problems in difficult hydrodynamic conditions without stationary and non-stationary calibrations of model.*

Математическое моделирование геофильтрации развивается в последние два десятилетия высокими темпами. Современные программные средства такого моделирования позволяют выполнять сложные гидродинамические расчёты. В настоящее время без применения математического моделирования на сложных и крупных гидрогеологических объектах невозможно решить прогнозные задачи и выполнить инженерные гидрогеологические расчёты.

Процесс моделирования геофильтрации состоит из последовательного выполнения нескольких этапов: геофильтрационной схематизации природных гидрогеологических условий, выбора исходных данных и обоснования расчётной фильтрационной схемы модели, конструирования модели, её калибровки методами решения стационарных и нестационарных (эпигнозных) задач, решения на модели прогнозных задач [1,2]. Калибровка модели путем решения комплекса стационарных и нестационарных задач позволяет уточнить геофильтрационные параметры, внутренние и внешние граничные условия, оценить непротиворечивость расчётной схемы реальной природной модели. Для выполнения детальной калибровки модели в условиях нарушенного режима при длительной работе водозаборных сооружений необходимы информативные данные по объёмам отбираемых подземных вод; а также по режимам: уровней вод эксплуатационного комплекса на всей территории гидрогеологического объекта, взаимосвязи водоносного комплекса с поверхностными водотоками и водоёмами, питания и эвапотранспирации подземных вод. Получение такой информации для гидрогеологического объекта требует значительных временных и материальных затрат, и зачастую невозможен в условиях ограниченного финансирования отдельных видов гидрогеологических изысканий. В таких условиях оценку эксплуатационных запасов можно выполнить, используя программные средства моделирования и исключив этапы калибровки модели.

Примером успешного применения программных средств моделирования геофильтрации в сложных гидродинамических условиях служит опыт переоценки эксплуатационных запасов Талдыкорганского месторождения подземных вод по 34-м водозаборам, бессистемно расположенным на площади месторождения.

Талдыкорганское месторождение подземных вод расположено в одноимённой межгорной впадине, которая является наложенной структурой на разновозрастном эпипалеозойском фундаменте [3]. Поверхность равнины сложена четвертичными и неогеновыми осадками, образующими различные типы рельефа. Гидрографическая сеть в районе хорошо развита и принадлежит Балхашскому водному бассейну. Наиболее крупными являются реки Каратал и Коксу, имеющие смешанный тип питания - дождевое, снеговое, ледниковое и грунтовое. Кроме того, в пределах месторождения имеются многочисленные ирригационные каналы, отводящие в вегетационный период часть поверхностного стока на поля орошения.

В геологическом строении Талдыкорганского месторождения подземных вод принимают участие отложения неогеновой и четвертичной систем. Подземные воды в пределах Талды-Курганской впадины приурочены к мощной рыхлообломочной толще, образованной аллювиальными отложениями нижнечетвертичного-современного возраста.

В гидрогеологическом отношении выделяемые по стратиграфической принадлежности водоносные горизонты гидравлически взаимосвязаны и представляют собой единую водоносную систему, объединённую в один водоносный четвертичный комплекс. Водоносный четвертичный комплекс литологически представлен мощными толщами валунно-галечников и галечников с песчаным заполнителем, с прослоями и линзами супесей и суглинков. Мощность водоносного комплекса в пределах месторождения изменяется в довольно

широких пределах — от 26 до 235 м и зависит от гипсометрии подстилающего водоупора, представленного глинами павлодарской свиты неогена.

Почти повсеместно подземные воды имеют свободную поверхность, глубина залегания которой изменяется в пределах от 1,4 м до 60,4 м. В понижениях рельефа и в поймах рек наблюдается интенсивное выклинивание подземных вод.

Водоносный комплекс водообилён и характеризуется высокими фильтрационными свойствами. Величины водопроницаемости изменяются в широких пределах от 538 до 5190 м<sup>2</sup>/сутки. Дебиты скважин изменяются от 40,0 до 111,0 л/с при понижениях уровня 8,5-10,0 м. Подземные воды пресные с минерализацией 0,2-0,7 г/л, по химическому составу гидрокарбонатные и сульфатно-гидрокарбонатные кальциевые.

Питание подземных вод осуществляется за счёт фильтрации поверхностного стока из русел рек и оросительных каналов, инфильтрации атмосферных осадков, подземного притока с горных массивов. Разгрузка осуществляется путем родникового выклинивания, испарения на площадях неглубокого залегания уровня, а также за счёт подземного оттока за пределы месторождения в Южно-Прибалхашскую впадину.

Подземные воды используются для хозяйственно-питьевых нужд по всей площади месторождения с давних времен. Добыча подземных вод осуществляется групповыми водозаборами, одиночными скважинами, колодцами, путём каптажа родников.

В настоящее время на территории месторождения действуют семь крупных групповых водозаборов (от 2 до 16 эксплуатационных скважин) с максимальной производительностью от 5720 до 60500 м<sup>3</sup>/сутки и 27 водозаборов (по 1-3 скважины) с меньшей производительностью до 2000 м<sup>3</sup>/сутки. Водозаборы предназначены для централизованного водоснабжения города Талдыкорган и прилегающих населенных пунктов, а также заводов и предприятий. Один водозабор предназначен для обеспечения городской теплоцентрали.

В связи с возрастающей потребностью в воде для хозяйственно-питьевых нужд г. Талдыоргана и пригородных посёлков в период 1980-1983 гг. была проведена детальная разведка Талдыкорганского месторождения подземных вод, по результатам которой ГКЗ СССР утверждены эксплуатационные запасы по категориям А+В в количестве 292,3 тыс.м<sup>3</sup>/сутки [2]. С 1984 г. и по настоящее время в пределах месторождения осуществляется бурение одиночных разведочно-эксплуатационных скважин для водоснабжения различных поселков. К 2009 г. на площади месторождения эксплуатировалось более 30 водозаборов. Все эти водозаборы в той или иной степени оказывают влияние друг на друга.

Оценка эксплуатационных запасов подземных вод по работам 1981-1983 гг. производилась применительно к 4-м водозаборам. Выполненным в те годы комплексом гидрогеологических и гидрологических исследований были определены фильтрационные параметры водоносного четвертичного комплекса и доказана тесная гидравлическая связь подземных и поверхностных вод. Междуречный массив, на котором располагаются водозаборы, рассматривался как "пласт-угол" с границами с постоянным напором, пересекающимися под углом 60° в месте слияния рек Коксу и Каратал.

В 2009 г. в связи с истечением срока утверждения эксплуатационных запасов Талдыкорганского месторождения подземных вод необходимо было произвести их переоценку применительно к 34-м водозаборам, бессистемно расположенным на его площади, в том числе и за пределами ранее принятой расчётной схемы "пласт-угол". В условиях сложной реальной природной схемы граничных условий аналитические методы расчётов для переоценки эксплуатационных запасов месторождения практически неприменимы ввиду их громоздкости и низкой достоверности.

Множество водозаборов располагается в левобережной части р. Коксу, другие - в правобережной части р. Каратал. Поэтому для переоценки эксплуатационных запасов месторождения определенную сложность представляет выбор расчётных схем для группы водозаборов, учитывая конкретные геолого-гидрогеологические и гидрологические условия на участках их расположения.

При расчёте прогнозных понижений на всех водозаборах с учетом их взаимовлияния, инверсии родникового стока и многократными отражениями в условиях "пласт - угол" необходимо выполнить несколько тысяч измерений расстояний и решить несколько сотен уравнений, что представляет собой весьма трудоёмкий процесс. Поэтому без применения математического моделирования оценка запасов подземных не представляется возможной.

Решение общего уравнения геофильтрации в частных производных второго порядка проведено нами с помощью программного обеспечения Visual MODFLOW, разработанного Waterloo Hydrogeologic Company Inc [4].

Нестационарный поток подземных вод в гетерогенном и анизотропном пространстве при коэффициенте фильтрации, различном вдоль направлений координатных осей, описывается уравнением параболического типа в частных производных:

$$, (1)$$

где - коэффициенты фильтрации в направлении  $x, y, z$  координатных осей (Lt<sup>-1</sup>);  $h$  - пьезометрический напор (L);  $W$  - питание или разгрузка на единицу объема (Lt<sup>-1</sup>);  $m$  - гравитационная или упругая водоотдача

$(L^{-1})$  и  $t$  - время ( $t$ ).

Уравнение (1) решается при соответствующих граничных условиях  $h/T-I = j(x,y)$ ;

Для решения этого уравнения в понижениях уровня оно представлялось в виде:

(2)

при граничных условиях  $S/T-I = j(x,y) = 0$ ;

где  $h$  - изменение уровня в точке с координатами  $x$  и  $y$  в момент времени  $t$  относительно начального ( $h_0$ );

$$DW = W_0 - W_n \quad (3)$$

остальные обозначения прежние.

Решая уравнение (3) при условии неизменности инфильтрационного питания, эвапотранспирации и полной инверсии родникового стока при работе водозаборов, получим:

$$DW = Q_в - Q_p \quad (4)$$

где  $Q_в$  - расход водозаборов,  $Q_p$  - расход родников.

Таким образом, в этом уравнении свободный член включает только величины водоотбора с учетом инверсии родникового выклинивания.

Математическая модель создается по общепринятой методике с внутренними и внешними граничными условиями, сформулированными для изменений напоров и источников-стоков. При этом расчёты на ней производятся с учётом площадного изменения геофильтрационных параметров (коэффициента фильтрации, водоотдачи и мощности) водоносного комплекса, распределения водозаборов по площади, пространственного расположения внешних и внутренних границ месторождения и граничных условий на них. Такое представление гидрогеологических параметров можно рассматривать как математическую модель геофильтрационной среды, выполнение расчётов на которой позволяет:

- определить понижения уровня подземных вод в продуктивном водоносном комплексе в центральных частях водозаборов на конец расчётного срока работы водозаборов;
- оценить эксплуатационные запасы подземных вод при допустимом понижении уровня в водоносном горизонте (индивидуально для каждого из 34 водозаборов) при их взаимовлиянии на весь срок эксплуатации.

Для сравнения результатов аналитического решения по формулам и достоверности решения общего уравнения геофильтрации при помощи программного обеспечения Visual Modflow произведено решение тестовой задачи. Основным критерием сравнения данных модельного решения выбраны результаты гидрогеологических расчётов, выполненных при оценке запасов Талдыкорганского месторождения в 1982-83 гг. для участков трёх действующих на то время водозаборов.

Оценка запасов подземных вод в 1982-1983 гг. выполнялась путём прогноза понижения уровня подземных вод в центре водозабора при заданном водоотборе с учётом влияния других водозаборов. Расчёты производились по схеме "пласт-угол" с двумя пересекающимися под углом 60° контурами питания с учётом инверсии источников выклинивания подземных вод в безнапорном водоносном пласте.

Решение модельной тестовой задачи программным средством Visual MODFLOW производилось по расчётной схеме, аналогичной схеме вычислений по аналитическим формулам. Производительность водозаборов соответствует принятой в расчёты при оценке запасов 1982-1983 гг. Инверсия источников (родников) соответствует реальным расходам родников на тот период времени и задана положительными точечными стоками.

Величины понижений уровня в водоносном комплексе, полученные по результатам расчётов по аналитическим формулам, приведены в таблице в сравнении с результатами решения модельной тестовой задачи.

**Расчётные значения величин понижения в четвертичном водоносном комплексе**

№ и название водозабора	По аналитическим формулам, S, м	По уравнению (2), S, м	Невязка, м / %
1 - Главный	14,70	16,20	-1,50/10,2
2 - Енбек	28,74	28,72	0,02/0,0
3 - Проектный	19,94	19,33	0,6/3,0

Результаты решения тестовой задачи расчёта понижения уровня воды в центральных частях водозаборов (таблица, рис. 1) практически совпадают с результатами расчетов, выполненными по аналитическим формулам, подтверждая возможность применения программных средств для решения гидрогеологических задач в условиях сложной гидродинамической обстановки.

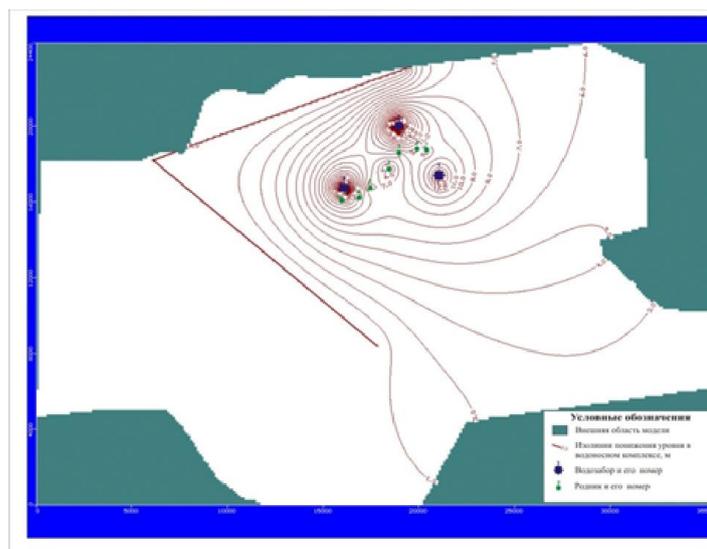


Рис. 1. Карта-схема расчетных понижений уровней воды в водоносном четвертичном комплексе по результатам решения тестовой задачи.

Далее на математической геофильтрационной модели выполнена оценка эксплуатационных запасов Талдыкорганского месторождения подземных вод. Решена прогнозная задача на срок 10000 суток для условий одновременной эксплуатации всех 34 водозаборов с суммарной нагрузкой  $300410 \text{ м}^3/\text{сутки}$  в течение всего амортизационного срока эксплуатации водозаборов. Результаты расчётных понижений уровня воды в водоносном четвертичном комплексе на конец амортизационного срока эксплуатации всех водозаборных участков Талдыкорганского месторождения (рис. 2) не превышают допустимых значений.

Эксплуатационные запасы Талдыкорганского месторождения подземных вод утверждены в ГКЗ Республики Казахстан в 2010 г. в  $300410 \text{ м}^3/\text{сутки}$  в категориях авторского подсчёта.

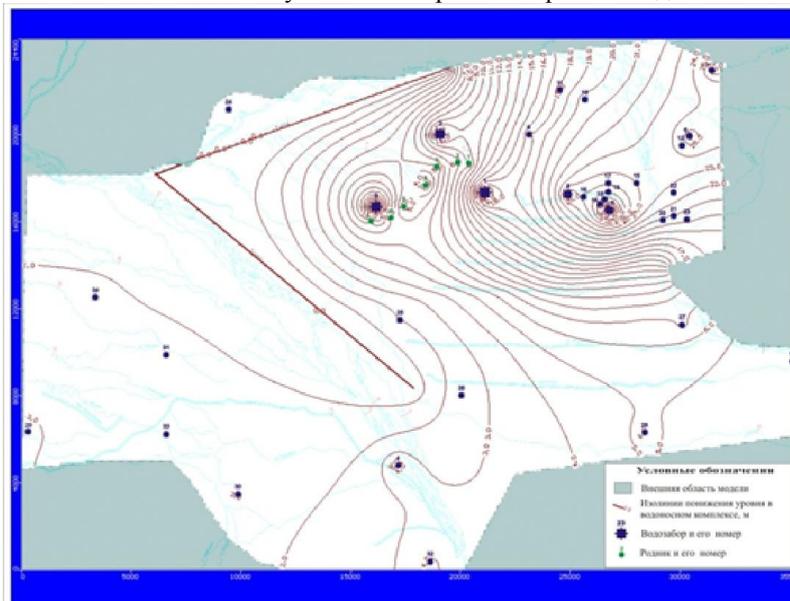


Рис. 2. Карта-схема понижений уровня воды водоносного четвертичного комплекса по результатам решения прогнозной задачи.

Таким образом, для оценки величины эксплуатационных запасов месторождений подземных вод со сложными граничными условиями возможно использование геофильтрационной модели с распределенными параметрами и точечными источниками-стоками с использованием компьютерных технологий и современных программных средств без калибровки модели решением стационарных и нестационарных задач.

**Литература:**

1. Гавич И.К. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод методом моделирования.//М.: ВИЭМС, 1972. -198 с.
2. Смоляр В.А., Буров Б.В., Веселов В.В. и др. Справочник. Водные ресурсы Казахстана (поверхностные и подземные воды, современное состояние).//Алматы: Гылым, 2002.-596 с.
3. Диденко-Кислицина Л.К. Геоморфология. Новейшая тектоника. История осадко-накоплений, палеоэкология.//Алматы: ТОО "Renata", 2006.-91 с.
4. Rushton K.R., Redshaw S.S., Seepage and groundwater flow-numerical analyses by analog and digital methods.// New York, John Wiley and Sons. 1979.-188с.

**Рецензент: д.геол.-мин.н., профессор Мухамеджанов М.А.**

---