

УДК 556.3.048(047.34)(574.57)

Канд. геол.-минерал. наук В.А. Завалей \*

Канд. геол.-минерал. наук Д.К. Калитов \*\*

Т.А. Рахимов \*

В.С. Салыбекова \*

**ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ  
ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ  
МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ  
КАСКЕЛЕНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД)**

*ГИДРОГЕОЛОГИЯ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ,  
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, ПЕРЕОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД*

*В статье дается обоснование совершенствования применения информационных технологий при решении задач, связанных с оценкой и переоценкой эксплуатационных запасов подземных вод, защитой их от истощения и загрязнения. Охарактеризованы основные особенности гидрогеологических и водохозяйственных условий, сформировавшихся в результате интенсивной эксплуатации подземных вод на территориях крупных городов и городских агломераций. Приведены результаты сопоставления данных прогнозных расчетов и фактического опыта эксплуатации водозаборов на территории Каскеленского месторождения подземных вод. Предложены рациональные подходы к выполнению переоценки эксплуатационных запасов подземных вод, реализованные на рассмотренных объектах-примерах.*

Одной из целевых задач Государственной Программы «Ак булак» по обеспечению населения Казахстана качественной питьевой водой на 2011...2020 гг. является максимальное использование потенциала подземных вод. Месторождения пресных подземных вод представляют собой наиболее защищенный и надежный источник питьевой воды высокого качества.

В Государственной Программе по форсированному индустриально-инновационному развитию Республики Казахстан на 2010...2014 гг.

---

\* НАО «КазНИТУ им. К.И. Сатпаева» г. Алматы

\*\* ТОО «Производственная компания «Геотерм»», г. Алматы

отмечается необходимость перехода на новые современные технологии экспертизы запасов на основе компьютерного моделирования месторождений полезных ископаемых, автоматизированных комплексов оценки и подсчета запасов.

В последние годы в Казахстане, за счет средств республиканского бюджета, проведен ряд работ по переоценке эксплуатационных запасов подземных вод месторождений первоначальный расчетный срок эксплуатации, которых давно истек. Приоритетными, при этом, были выбраны методы исследований с применением математического моделирования, геоинформационных систем, систем обработки данных дистанционного зондирования земли, систем глобального позиционирования и др. Совместное применение различных инструментальных средств существенно повышает эффективность исследований. Авторами статьи выполнен ряд работ по проведению переоценки запасов, предложены рациональные подходы к выполнению переоценки эксплуатационных запасов подземных вод, реализованные и приведенные далее на рассмотренных объектах-примерах. [3, 4].

Возможность рационального использования недр с целью добычи подземных вод определяется, в первую очередь, величиной их эксплуатационных запасов, детальностью изученности (категорийностью) подсчитанных запасов, а также возможностью или доступностью их для освоения (балансовой принадлежностью) [1].

Разведка и оценка эксплуатационных запасов подземных вод (ЭЗПВ), на которых базируется современное водоснабжение крупных городов и районных центров в основном была выполнена в 60...80 годах прошлого века. Гидродинамические прогнозы выполнялись сначала аналитически, затем с применением методов математического моделирования для расчетных схем крупных групповых водозаборов.

В настоящее время, сложившаяся система водоснабжения крупных городов за счет подземных вод, как правило, включает в себя систему централизованного водоснабжения (головной водозабор площадного или линейного типа, представленный 5...15 скважинами), а также большое количество автономных водозаборов (одиночных скважин), доля которых в общей величине водоотбора подземных вод на территории города может достигать 20...30 %.

Эксплуатация подземных вод в городах ведется как на участках недр, запасы которых прошли Государственную экспертизу и включены в Государственный учет, так и на участках недр с неутвержденными запасами. Таким образом, с ростом антропогенной деятельности, в условиях интенсивной урбанизации происходят существенные изменения водохо-

зайственной обстановки, относительно принятой расчетной схемы при оценке ЭЗПВ. Нагрузка от работы водозаборов распределяется по всей территории города и пригорода, в результате чего формируется обширная депрессионная воронка от работы центрального водозабора, осложненная локальными воронками от работы одиночных скважин. В таких ситуациях происходит перераспределение гидродинамического и гидрогеохимического балансов месторождений пресных подземных вод, что приводит к следующим негативным последствиям:

- изменению природных гидрогеохимических процессов за счет увеличения перетекания из смежных горизонтов и усиления притока подземных вод по эксплуатируемому пласту из областей с некондиционными водами;
- интенсификации процессов техногенного загрязнения;
- ущербу речному стоку;
- осушению целевых водоносных горизонтов.

В период 2012...2014 гг. авторы статьи принимали непосредственное участие в работах ТОО «Производственная компания «Геотерм» с целью переоценки эксплуатационных запасов подземных вод Каскеленского, Восточно-Талгарского, Узынагашского, Боралдайского, Нарынкольского, Сарыюзекского, Лепсинского, Иссыкского, Баканасского и Николаевского месторождений, где переоценка эксплуатационных запасов осуществлялась с учетом гидродинамических, гидрогеохимических и природоохранных ограничений. Учет в прогнозных расчетах изменений водохозяйственной обстановки и проявление негативных процессов или возможность их проявления в будущем осуществлено на геофильтрационных и геомиграционных моделях. Созданные для этих целей численные математические модели проходили основательную калибровку по результатам опыта эксплуатации водозаборов подземных вод и по данным мониторинга подземных вод.

В качестве примера таких работ на урбанизированных территориях рассмотрим результаты переоценки запасов подземных вод по Каскеленскому месторождению.

Каскеленское месторождение находится в юго-западной части обширной Илийской впадины и в структурно-тектоническом отношении тяготеет к зоне максимального погружения ее консолидированного фундамента, известного под названием Алматинской впадины. Последняя представляет собой структуру III порядка возникшую и сформировавшуюся (как и Илийская депрессия) в эпоху альпийского орогенеза (рис. 1, 2).

Месторождение имеет отчетливо выраженные геологические и гидрогеологические границы. На юге эта граница проходит по контакту

рыхлых валунно-галечниковых отложений современных конусов выноса с нижнечетвертичными отложениями предгорной ступени, выраженной в рельефе в виде уступов высотой 100...300 м.

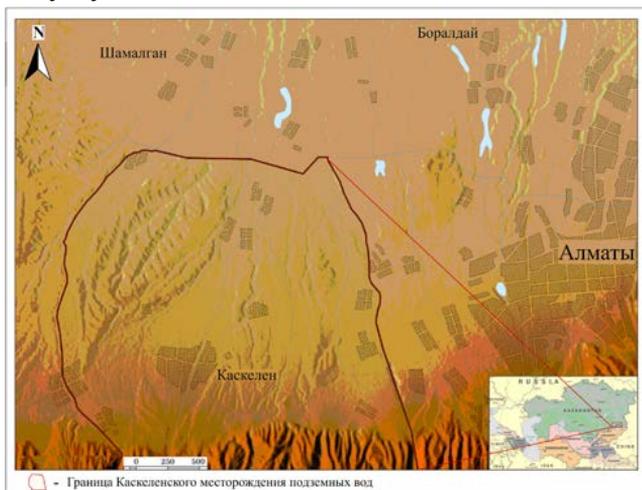


Рис. 1. Обзорная карта Каскеленского месторождения подземных вод.

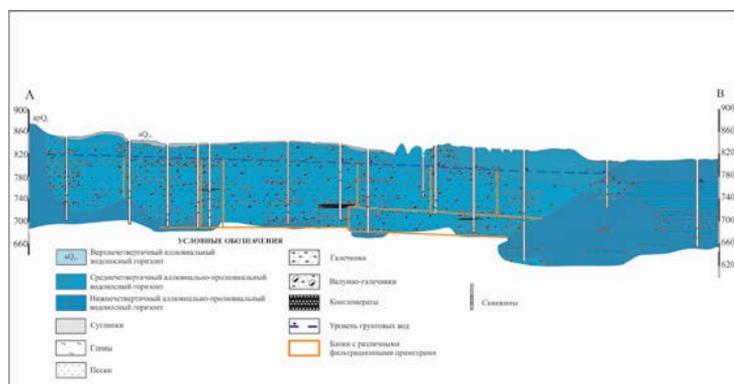


Рис. 2. Гидрогеологический разрез Каскеленского месторождения подземных вод.

На востоке граница проходит по контуру отложений среднечетвертичного возраста, слагающих междуречье Аксай – Каскелен, а также по серии останцев нижнечетвертичного возраста. Те и другие отложения представлены преимущественно суглинками.

На западе граница месторождения совпадает с контуром нижнечетвертичных отложений, сохранившихся в виде останцев, сложенных суглинками и образующих гряду северо-восточного простирания. Общая мощность рыхлых отложений в пределах конуса выноса равна 500 и более метров [1].

В административном отношении территория месторождения входит в состав Карасайского района Алматинской области. Крупными насе-

ленными пунктами района являются г. Каскелен, поселки Ушконыр, Жамбыл, Улан и др. Общая потребность в воде составляет 22,8 тыс. м<sup>3</sup>/сут, на перспективу 124,4 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Требование к качеству воды – соответствие нормам СП РК №104 от 18.01.2012 г. Расчетный срок эксплуатации месторождения – 10 000 суток.

Эксплуатация Каскеленского месторождения подземных вод ведется в условиях взаимовлияния с Алматинским, Узынагашским, Боралдайским и Каройским месторождениями подземных вод. Данные условия вызвали необходимость создания модели регионального уровня, включающей участки водозаборов вышеупомянутых месторождений. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод выполнена методом математического моделирования с использованием программного комплекса Visual ModFlow Premium 2012.2. При этом, в модель введены данные эксплуатационных скважин, находящихся в пределах радиуса влияния. Всего обработана информация по 180 скважинам района [4].

*Гидрогеологические условия в плане* были схематизированы в виде области фильтрации размерами 41×56,3 км, общей площадью 2308,3 км<sup>2</sup>. Внешние границы моделируемой области приняты в соответствии с принятыми условиями гидрогеологического формирования и распространения основных водоносных горизонтов и комплексов. Моделируемая область в плане аппроксимирована ортогональной сеткой с шагом  $M \times N = 100 \times 200$  м. (рис. 3)

*Гидрогеологические условия в разрезе* приняты по результатам анализа геологической и гидрогеологической информации (рис. 3), с учетом особенностей литологического строения разреза, изменения фильтрационных свойств водовмещающих отложений, закономерности движения подземных вод. Всего выделены два гидродинамических этажа и созданы 3 слоя модели:

*слой 1* – водоносный горизонт среднечетвертичных аллювиально-проллювиальных отложений ( $арQ_{II-III}$ ), в зоне предгорной равнины ( $арQ_{III}$ );

*слой 2* – прослой плотных суглинков (водоразделяющий слой);

*слой 3* – водоносный горизонт нижнечетвертичных отложений ( $арQ_I$ ).

*Внешние граничные условия* расчётной области определены следующим образом:

- по всей протяженности границы – условие II рода ( $\Delta Q = const = 0$ ).

*Внутренние граничные условия* схематизированы следующим образом:

- по руслам рр. Чемолган, Каскелен, Аксай, Большая Алматинка, Малая Алматинка – граничное условие II рода ( $H = const$ ) точечные стоки от работы водозаборов – переменный во времени расход ( $Q_e = f(t)$ ) в точках

расположения водозаборных скважин. Нагрузки на водозаборы распределены в соответствии с фактическими данными о среднегодовом водоотборе.

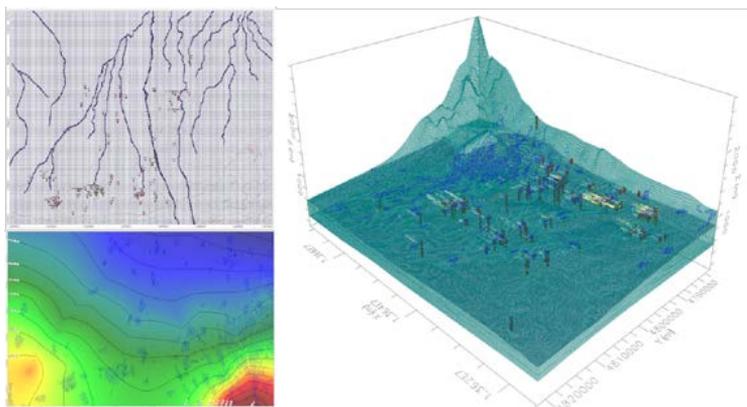


Рис.3. Карта-схема распределения граничных условий по расчётной области.

Соответствие сформированной гидродинамической модели природным условиям доказывается решением обратной стационарной задачи (калибровкой модели), выполняемой с целью:

- создания сбалансированной модели;
- уточнения отдельных гидрогеологических параметров и граничных условий;
- оценки естественных ресурсов подземных вод;
- определения величины балансовых составляющих подземных вод и их распределения по площади;
- получения начальных условий для решения прогнозной задачи.

Критерием адекватности модели натурным условиям является совпадение или близкое соответствие уровней, полученных на модели, с фактической уровенной поверхностью, а также правдоподобные количественные оценки отдельных элементов баланса подземных вод и распределение их по площади. Сопоставление модельных и натурных абсолютных отметок по 18 опорным скважинам показано в табл.

Результаты расчета погрешности решения обратной стационарной задачи: средняя ошибка, средняя ошибка по абсолютной величине, и среднеквадратическая ошибка в метрах определены по следующим зависимостям [2, 5]:

Средняя ошибка определяется из выражения:

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (h_c - h_0)_i, \quad (1)$$

где,  $n$  – количество наблюдательных скважин,  $h_c$  и  $h_0$  – рассчитанное и замеренное значение уровня воды в скважине.

Таблица

Расхождения между фактическими и модельными отметками подземных вод при решении обратной стационарной задачи за период 1965...1966 гг.

| № скважины   | Абсолютная отметка исходного уровня по данным за 1965...66 гг., м | Абсолютная отметка уровня, по результатам моделирования, м | Погрешность   |                  |
|--------------|---|--|---------------|------------------|
|              |   |  | абсолютная, м | относительная, % |
| 323          | 817,41  | 817,70   | 0,29          | 0,54             |
| 410          | 822,05  | 816,70   | 5,35          | 2,31             |
| 169/442(257) | 804,38  | 803,90   | 0,48          | 0,69             |
| 25/128(5)    | 803,17  | 802,00   | 1,17          | 1,08             |
| 325          | 799,77  | 804,60   | 4,83          | 2,20             |
| 422          | 819,27  | 807,00   | 12,27         | 3,50             |
| 423          | 818,84  | 807,00   | 11,84         | 3,44             |
| 58           | 819,71  | 806,70   | 13,01         | 3,61             |
| 416          | 815,56  | 810,30   | 5,26          | 2,29             |
| 84Д          | 813,56  | 803,60   | 9,96          | 3,16             |
| 56           | 814,79  | 809,80   | 4,99          | 2,23             |
| 1209         | 800,20  | 802,70   | 2,50          | 1,58             |
| 1317/12(182) | 851,29  | 852,80   | 1,51          | 1,23             |
| 336/8        | 867,97  | 846,90   | 21,07         | 4,59             |
| 236/6        | 858,08  | 843,30   | 14,78         | 3,84             |
| 228/4        | 845,86  | 840,80   | 5,06          | 2,25             |
| 353/3        | 847,16  | 841,10   | 6,06          | 2,46             |
| Среднее      |   |  | 7,08          | 2,41             |

Средняя ошибка по абсолютной величине рассчитывается по формуле:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (|h_c - h_0|)_i, \quad (2)$$

Среднеквадратическая ошибка вычисляется из соотношения:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (h_c - h_0)_i^2}. \quad (3)$$

На рис. 4 приведена копия экрана, сделанная в процессе работы с ModFlow и отображающая результаты расчета погрешности решения обратной стационарной задачи. График показывает соотношение вычисленных и факти-

чески замеренных уровней по наблюдательным скважинам, доказывающее высокую сходимость значений и соответствие модельных условий реальным.

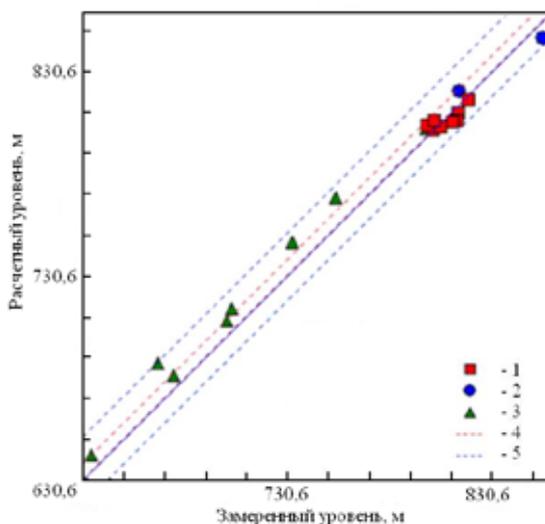


Рис. 4. График распределения среднеквадратичной ошибки по данным решения обратной стационарной задачи. 1 – слой №1, 2 – слой №2, 3 – слой №3, 4 – интервал совпадения, 5 – интервал.

Балансовое уравнение по месторождению имеет следующий вид:

$$Q_{нов} + Q_{ос} + Q_{пр} = Q_{исп} + Q_{отб} + Q_{эвп} + Q_{под\ отт}, \quad (4)$$

где  $Q_{нов}$  – фильтрация поверхностного стока, складывающаяся из фильтрации из русел рек;  $Q_{пр}$  – приток подземных вод по внешним границам;  $Q_{ос}$  – инфильтрация атмосферных осадков;  $Q_{исп}$  – суммарное испарение;  $Q_{отб}$  – величина отбора действующих подземных водозаборов;  $Q_{эвп}$  – эвапотранспирация;  $Q_{под\ отт}$  – подземный отток за границы месторождения.

Анализ модельных и натурных карт уровенных поверхностей водоносных горизонтов показывает их достаточно высокую сходимость. Элементы баланса подземных вод по результатам решения обратной стационарной задачи приведены на рис. 5.

По результатам решения обратной стационарной задачи можно сделать следующие выводы:

1. Полученные на модели результаты залегания уровня подземных вод по состоянию на 1966 г. имеют достаточную сходимость, что подтверждает верность выбранной схематизации, заданию граничных условий и гидрогеологических параметров;

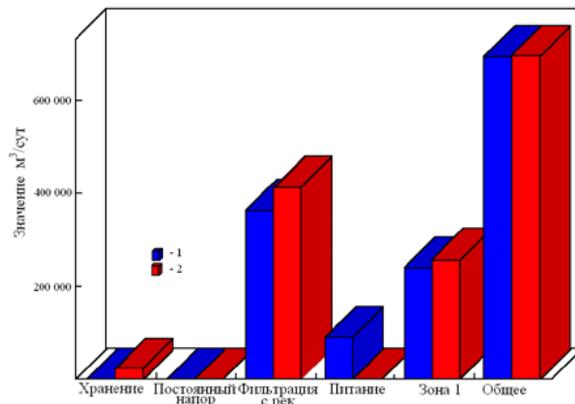


Рис. 5. Элементы баланса подземных вод по результатам решения обратной стационарной задачи. 1 – приток, 2 – отток.

2. Естественные ресурсы подземных вод составляют  $8,06 \text{ м}^3/\text{с}$ . Основная роль в их формировании (52 %) осуществляется за счет потерь речного стока. На приток по внешним границам уходит 35 % общего водного баланса, на инфильтрацию атмосферных осадков приходится 13 % баланса.
3. В расходных статьях баланса преобладает разгрузка подземных вод в сопредельные части бассейнов (всего приходится 60 %), на отток в речную сеть (40 %).
4. По результатам решения обратной стационарной задачи, можно сделать заключение, что модель адекватна существующим природным условиям. Полученные значения были приняты в качестве начальных для решения эпигнозной и прогнозной задач.

Решение прогнозных задач геофильтрации заключалось в определении прогнозных величин водоотбора, глубины залегания подземных вод на расчетный период эксплуатации (10000 суток) и сравнения их с величиной допустимого понижения подземных вод, полученной по результатам аналитических расчетов.

При решении прогнозной задачи определены:

- прогнозные дебиты скважин на период эксплуатации;
- глубины залегания уровня грунтовых вод в колодцах и скважинах;
- определена степень влияния водоотбора на территорию месторождения за прогнозный период.

При моделировании учтено взаимодействие водозаборов Узынагашского, Каройского, Боролдайского и Алматинского месторождений подземных вод, расположенных в пределах радиуса влияния водозаборов Каскеленского месторождения на модели.

Нагрузки по скважинам распределены в соответствии с их максимальной производительностью исходя из конструкции скважин и водопотребности. Изолинии подземных вод по результатам решения прогнозной задачи представлены на карте-схеме (рис. 6).

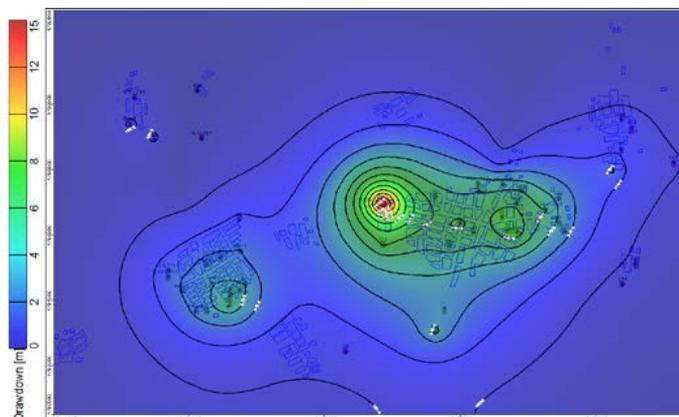


Рис. 6. Карта понижений по данным решения прогнозной задачи для Каскеленского месторождения подземных вод.

Водоотбор был задан с учетом максимальной производительности скважин  $124200 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Сумма расходных статей баланса подземных вод водозаборов не превышает естественных ресурсов. Баланс водозаборов обеспечивается сработкой ёмкостных запасов подземных вод водоносного горизонта. Наиболее заметное влияние от работы водозабора проявляется на центральном водозаборе г. Каскелена. Статические запасы составляют  $1103,67 \text{ км}^3$ . Расход естественного потока по профилю конуса выноса составляет  $1565 \text{ дм}^3/\text{с}$ . Фактический водоотбор по скважинам за 2013...14 гг. составляет  $16052 \text{ м}^3/\text{сутки}$ . Суммарный максимальный расчетный дебит по водозаборах составляет  $124,2 \text{ тыс. м}^3/\text{сутки}$ . По данным математического моделирования и гидродинамических расчетов понижение уровня воды на расчетный срок эксплуатации не превысит  $15...22 \text{ м}$ . Питание водного горизонта происходит за счет инфильтрации из рек и временных водотоков, фильтрации атмосферных осадков и притока подземных вод с внешних границ.

Влияние эксплуатации водозаборов на общий водный баланс района и окружающую среду будет незначительным и не вызовет каких-либо негативных последствий. За многолетний период эксплуатации подземных вод месторождения, качество подземных вод остается неизменным и в соответствии с нормами СП РК № 104 от 18.01.2012 г. Воды вполне могут служить источником централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения для г. Каскелена и близлежащих населенных пунктов.

Доказана возможность длительной эксплуатации подземных вод Каскеленского месторождения (10000 сут) с отбором их в количестве 124,2 тыс. м<sup>3</sup>/сут в условиях его взаимодействия с Алматинским, Узынагашским и Боралдайским месторождениями [5].

Согласно данным математического моделирования, увеличение водоотбора на месторождении приводит к интенсификации вертикального водообмена внутри модельной области. Это не сказывается на значительном изменении водообмена Каскеленского месторождения и Илийского бассейна в целом, однако необходимо проведение учета величины водоотбора и постоянный мониторинг за изменением уровня и качества подземных вод.

Выводы:

1. Накопленный опыт проведенных работ на территориях крупных городов позволяет сформулировать основные особенности оценки эксплуатационных запасов подземных вод в рассматриваемых условиях. Расчеты водопотребности для городов, принятые при первоначальной оценке запасов оказались существенно (часто многократно) завышенными, что привело к резкому несоответствию фактического и прогнозного состояния подземных вод, прежде всего, вследствие несоответствия прогнозного и фактического водоотбора.
2. Развиваемая в 70-80 годы прошлого века концепция ликвидации многочисленных автономных одиночных водозаборов на городских территориях и замена их централизованными водозаборами на экологически чистых участках недр в новых экономических условиях не оправдалась. Одиночные водозаборы в своем большинстве не только не были ликвидированы, но и возникали вновь. Поэтому расчетные схемы эксплуатации отличаются от фактически реализованных.
3. Наблюдается тенденция увеличения количества недропользователей, причем без роста суммарного водоотбора.
4. Мониторинг величины изменения объемов водоотбора на участках свидетельствует о том, что и заявленные в настоящее время потребности в случаях, когда они заметно превышают фактический водоотбор, когда-нибудь будут достигнуты.
5. В условиях интенсивной урбанизации эксплуатационная нагрузка распределяется по всей территории города и его окрестностей, уменьшаясь, как правило, от центральной части к периферии. В результате подобной системы эксплуатации формируется обширная общая депрессионная воронка с центром на наиболее нагруженном участке город-

ской территории, осложненная локальными воронками от работы наиболее крупных водозаборов.

6. В районах с выраженной гидрохимической зональностью нагрузка недостаточно учитывается при определении нагрузок не только в целом по месторождению, но и, прежде всего, на отдельные водозаборные участки, в результате чего происходит необратимые изменения качества подземных вод за счет подтягивания некондиционных вод. Все это требует ограничения водоотбора на городских территориях вопреки желанию отдельных недропользователей создавать на них новые одиночные водозаборы, а так же проведение тщательного мониторинга за изменением качества подземных вод.

Опыт выполненных работ показывает, что данные многолетнего мониторинга уровней, водоотбора и качества подземных вод, в купе с построением математических моделей, позволяют установить основные тенденции их изменения и прогнозировать состояние подземных вод на эксплуатируемых месторождениях на период конечного срока эксплуатации.

Наиболее эффективное управление эксплуатацией месторождений подземных вод может вестись на основе создания постоянно действующих математических моделей, которые должны стать непосредственной составляющей частью мониторинга.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровский Б.В., Язвин А.Л. Методика переоценки запасов питьевых и технических подземных вод разведанных и оцененных месторождений в нераспределенном фонде недр Московского региона // Разведка и охрана недр. – 2012. – Вып. №11. – С. 5-10.
2. Каскеленское месторождение подземных вод: Отчет Алма-Атинской гидрогеологической партии / А-А, РГФ. – Инв. №01164. – Алма-Ата, 1965. – 234 с. – Отв. исполн. В.Ф. Шестаков, Г.Т. Коростова.
3. О результатах доразведки с целью переоценки запасов подземных вод Восточно-Талгарского и Боралдайского месторождений в Алматинской области: Отчет о ГРП / МД «Южказнедра». – Инв. №2791. – Алматы, 2014. – Отв. исполн. Т.А. Рахимов, В.С. Салыбекова.
4. О результатах доразведки с целью переоценки запасов подземных вод Баканасского, Исыкского и Каскеленского месторождений в Алматинской области: Отчет о ГРП / МД «Южказнедра». – Инв. №2790. – Алматы, 2014. – Отв. исполн. В.С. Салыбекова, Д.Т. Тубагабилов, Т.А. Рахимов.

5. Moench A.F. Computation of type curves for flow to partially penetrating wells in water-table aquifers // Ground Water. – 1993. – Vol. 31. – N 6. – P. 966-971.

Поступила 22.09.2015

|                              |                 |
|------------------------------|-----------------|
| Геол.-минерал. ғылымд. канд. | В.А. Завалей    |
| Геол.-минерал. ғылымд. канд. | Д.К. Калитов    |
|                              | Т.А. Рахимов    |
|                              | В.С. Салыбекова |

**МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ ӘДІСІН ПАЙДАЛАНА  
ОТЫРЫП, ЖЕР АСТЫ (ҚАСКЕЛЕН ЖЕР АСТЫ СУЛАРЫНЫҢ  
КЕН ОРЫНДАРЫ)СУЛАРЫНЫҢ ҚОРЛАРЫН ПАЙДАЛАҢУ  
МҮМКІНДІКТЕРІН ҚАЙТА БАҒАЛАУ**

*ГИДРОГЕОЛОГИЯ, МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ,  
ГЕОАҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕЛЕР, ЖЕР АСТЫ СУЛАРЫНЫҢ  
ҚОРЛАРЫН ҚАЙТА БАҒАЛАУ*

*Бұл мақалада жер асты суларының эксплуатациялық қорының сарқылмау мен және ластанбаудан қорғау мәлішерін, есептеу мен қайта есептеуге қатысты есептерді шешудегі ақпараттық технологиялардың қолданылуын дамыту түсініктемесі берілген. Үлкен қалалар және қалалық агломерациялар аумағындағы жерасты суларын белсенді түрде эксплуатациялау нәтижесінде пайда болған гидрогеологиялық және су шаруашылық жағдайлардың негізгі ерекшеліктері сипатталған. Қаскелең жерасты су кен орнының аумағындағы су жинағыштың болжамдық есептеулері мен нақты тәжірибелерінің мәліметтерін сәйкестендіру нәтижелері келтірілген. Қарастырылған мысалда – нысандарында жүзеге асырылатын жерасты су қорларын қайта есептеудің рационалды әдістері ұсынылған.*