

ҚР ҰҒА-ның Хабарлары. Геология және техникалық ғылымдар сериясы.  
Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук. 2011. №3. С. 80–85

УДК 501.76, 556.3

В.Ю. ПАНИЧКИН<sup>1</sup>, А.Г. САТПАЕВ<sup>2</sup>,  
О.Л. МИРОШНИЧЕНКО<sup>3</sup>, Л.Ю. ТРУШЕЛЬ<sup>4</sup>, Н.М. ЗАХАРОВА<sup>5</sup>

## ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД КЫЗЫЛЖАРМИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Кызылжарма кенорнының жерасты суларының қорларын бағалау мақсатында гидрогеологиялық жағдайын математикалық ұлғілеудің нәтижелері қарастырылған.

Рассматриваются результаты математического моделирования гидрогеологических условий Кызылжарминского месторождения подземных вод с целью оценки его запасов.

Results of mathematical modeling of hydrogeological conditions of Kyzylzharminski deposit of groundwaters with the aim of its resources estimation are discussed in this article.

Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина завершил работы по оценке запасов Кызылжарминского месторождения подземных вод для организации водоснабжения г. Кызылорды и прилегающих поселков с использованием методов геоинформационного и математического моделирования. Месторождение приурочено к верхнетуронскому водоносному горизонту напорных вод. Эксплуатируемый горизонт сверху и снизу граничит с горизонтами, содержащими слабосолоноватые воды с минерализацией до 4 г/дм<sup>3</sup>. При интенсивной эксплуатации продуктивного горизонта возможно ухудшение качества отбираемой воды вследствие перетекания солоноватых вод из смежных горизонтов. Поэтому важнейшей задачей проведенных исследований являлось прогнозирование качества воды в эксплуатируемом горизонте. Предполагается, что Кызылжарминское месторождение будет эксплуатироваться 170 скважинами, из которых 113 существует, а 57 будет пробурено в ближайшее время. Часть этих эксплуатационных скважин сгруппирована на отдельных, небольших по площади участках, и представляет собой локальные линейные и групповые водозаборы, а остальные одиночные рассредоточены по территории города Кызы-

лорды и прилегающих поселков. Водоотбор из верхнетуронского водоносного горизонта к концу прогнозного периода (16.02.2038г.) достигнет 100600 м<sup>3</sup>/сут. Необходимо было рассчитать глубины залегания динамических уровней в эксплуатационных скважинах и убедиться, что они не превышают максимально допустимых значений. При расчетах требовалось также учесть влияние возможной эксплуатации месторождений подземных вод, расположенных за пределами исследуемой территории. Решение этих задач возможно только методами математического моделирования. Описание гидрогеологических условий Кызылжарминского месторождения и их схематизация, описание созданной с помощью программного комплекса GMS 6.0 математической модели месторождения и результаты ее калибровки приведены в нашей статье [1]. Математическая модель Кызылжарминского месторождения подземных вод была создана как модель-врезка региональной модели Казахстанской части Восточного Приаралья, разработанная в Институте гидрогеологии и гидрофизики АН РК совместно с Казахстанской опытно-методической экспедицией в 1989–1991 гг. Описание региональной модели Восточного Приаралья приведено в [2, 3].

<sup>1-5</sup> Казахстан, 050010, г.Алматы, ул. Ч.Валиханова, 94, Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М.Ахмедсафина

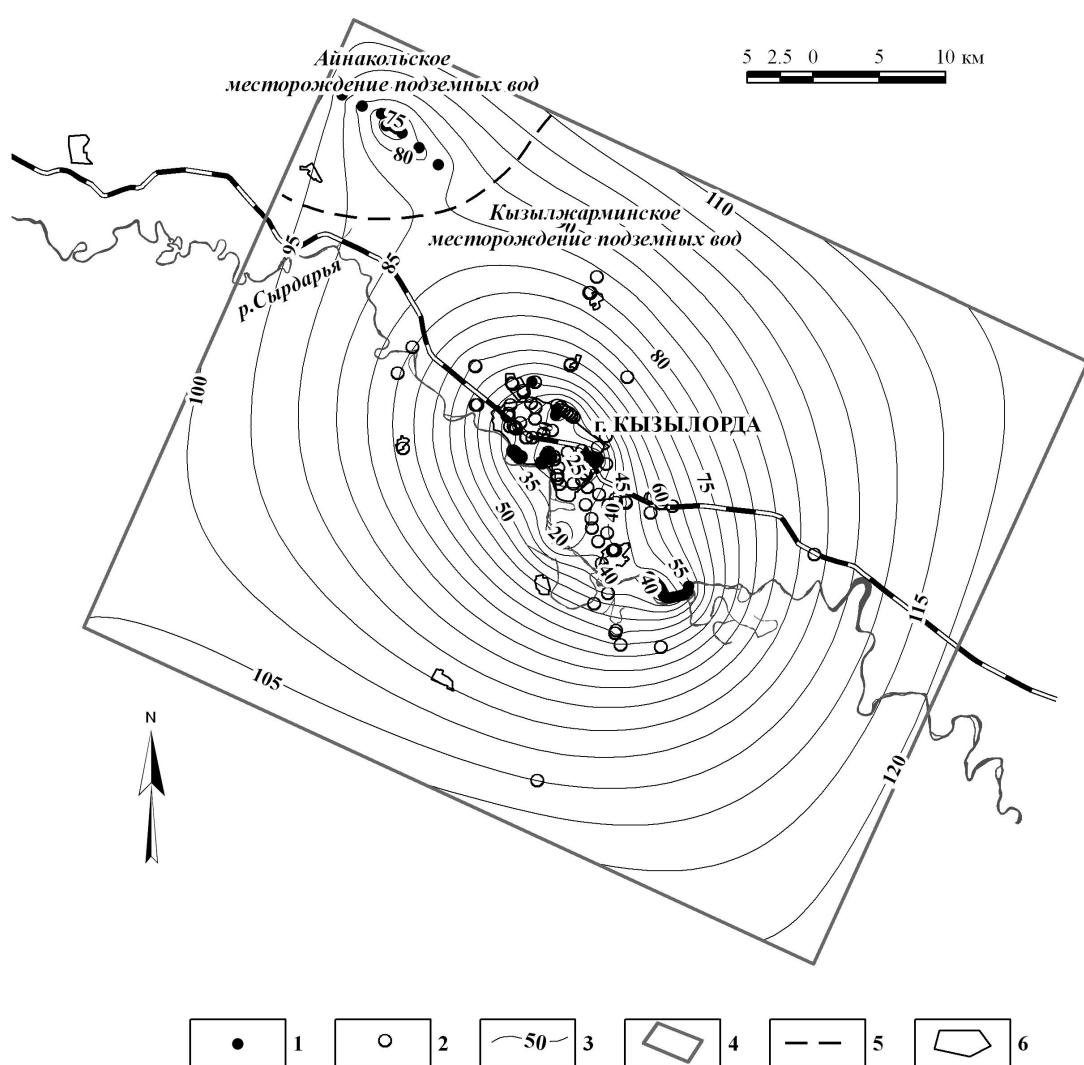


Рис.1. Прогнозная карта гидроизопрессии верхнетуронского водоносного горизонта (по состоянию на 16.02.2038 г.)

1 – проектируемая водозаборная скважина; 2 – существующая эксплуатационная скважина; 3 – гидроизопрессии. Цифры – абсолютные отметки уровня подземных вод, м. 4 – граница моделируемой области; 5 – граница месторождений подземных вод; 6 – населенные пункты.

По результатам моделирования было установлено, что на конец прогнозного периода в эксплуатируемом верхнетуронском водоносном горизонте сформируется депрессионная воронка, охватывающая всю исследуемую область (рис. 1). По сравнению с 1.10.2010 г. уровни понизятся на 90-100 м в центре депрессионной воронки. По границам моделируемой области уровни снизятся на 4-10 м. Максимальные глубины залегания динамического уровня в эксплуатационных скважинах достигнут 129.8 м, однако не превысят допустимых 150 м. Таким образом, эксплуатационные запасы по гидродинамическим критериям можно считать обеспеченными.

Под влиянием эксплуатации существенно изменяются условия формирования подземных вод верхнетуронского водоносного горизонта. На ненарушенный период оно происходило в основном за счет притока по внешним границам моделируемой области ( $2629.5 \text{ м}^3/\text{сут}$ ) и в меньшей степени за счет притока снизу из верхнеальб-сеноманского водоносного комплекса ( $404.8 \text{ м}^3/\text{сут}$ ) и сверху из коньак-кампанского водоносного горизонта ( $139.5 \text{ м}^3/\text{сут}$ ) (табл. 1). Разгрузка осуществлялась преимущественно путем оттока по внешним границам модели ( $2987.5 \text{ м}^3/\text{сут}$ ) и перетекания вверх в коньак-кампанский водоносный горизонт ( $164.6 \text{ м}^3/\text{сут}$ ). К концу прогноз-

Таблица 1. Балансовые составляющие потока подземных вод, рассчитанные по результатам решения обратной стационарной задачи (по состоянию на 1.1.1974г.)

Водоносные горизонты и комплексы	Приходные статьи, м <sup>3</sup> /сут				Расходные статьи, м <sup>3</sup> /сут			
	Приток по внешним границам I рода	Приток сверху	Приток снизу	Сумма приходных статей	Отток по внешним границам I рода	Отток вверх	Отток вниз	Сумма расходных статей
маастрихтский	808.68	0	0	808.68	-697.48	0	-111.16	-808.64
коньак-кампанский	1785.39	111.15	164.63	2061.17	-1921.65	0	-139.49	-2061.14
верхнетуронский	2629.48	139.49	404.80	3173.77	-2987.45	-164.63	-21.64	-3173.72
верхнеальб-сеноманский	3394.32	21.63	99.95	3515.90	-3075.90	-404.80	-35.06	-3515.77
нижне-среднеальбский	769.45	35.08	0	804.54	-704.54	-99.97	0	-804.51
<b>Всего для моделируемой области</b>				<b>9387.32</b>			<b>-9387.03</b>	

Таблица 2. Балансовые составляющие потока подземных вод, рассчитанные по результатам решения эпигнозной задачи (по состоянию на 1.10.2010г.)

Водоносные горизонты и комплексы	Приходные статьи, м <sup>3</sup> /сут						Расходные статьи, м <sup>3</sup> /сут					
	Приток по внешним границам I рода	Приток по границам II рода	Приток сверху	Приток снизу	Сработка упругих запасов	Сумма приходных статей	Отток по внешним границам I рода	Отток по границам II рода	Отток вверх	Отток вниз	Работа водозаборных скважин	Сумма расходных статей
маастрихтский	0	831.66	0	0.35	90.84	832.01	0	-721.04	0	-201.80	0	-922.84
коньак-кампанский	4026.01	0	201.80	137.33	677.16	4365.14	-928.42	0	-0.35	-3944.55	-168.98	-5042.30
верхнетуронский	5537.62	0	3944.55	3645.58	1105.52	13127.76	-1574.33	0	-137.33	-11.24	-12510.37	-14233.27
верхнеальб-сеноманский	5801.98	0	11.22	434.01	107.37	6247.21	-2156.30	0	-3645.57	-2.16	-550.56	-6354.58
нижне-среднеальбский	972.67	0	2.16	0	112.89	974.83	-653.71	0	-434.01	0	0	-1087.72
<b>Итого</b>	<b>16338.28</b>	<b>831.66</b>			<b>2093.78</b>		<b>-5312.76</b>	<b>-721.04</b>			<b>-13229.90</b>	
<b>Всего для моделируемой области</b>					<b>19263.72</b>					<b>-19263.70</b>		

Таблица 3. Балансовые составляющие потока подземных вод, рассчитанные по результатам решения прогнозной задачи (по состоянию на 16.02.2038г.)

Водоносные горизонты и комплексы	Приходные статьи, м <sup>3</sup> /сут					Расходные статьи, м <sup>3</sup> /сут						
	Приток по внешним границам I рода	Приток по внешним границам II рода	Приток сверху	Приток снизу	Сработка упругих запасов	Сумма приходных статей	Отток по внешним границам I рода	Отток по внешним границам II рода	Отток вверх	Отток вниз	Работа водозаборных скважин	Сумма расходных статей
маастрихтский	0	831.66	0	4.42	778.51	836.08	0	-721.04	0	-893.54	0.00	-1614.58
коньяк-кампанский	27223.24	0	893.55	420.45	745.55	28537.24	-37.64	0	-4.42	-29021.72	-219.00	-29282.79
верхне-туронский	43833.19	0	29021.72	26777.62	1450.79	99632.53	-64.07	0	-420.45	-40.30	-100558.5	-101083.32
верхнеальб-сеноманский	39813.83	0	39.32	3093.54	182.50	42946.69	-111.40	0	-26776.65	-3.19	-16237.95	-43129.19
нижне-среднеальбский	2148.28	0	3.19	0	1622.97	2151.47	-680.91	0	-3093.53	0	0.00	-3774.44
Итого	113018.54	831.66			4780.31		-894.02	-721.04			-117015.45	
Всего для моделируемой области											-118630.51	

ного периода под воздействием водоотбора (12510.4 м<sup>3</sup>/сут) существенно увеличивается приток по внешним границам моделируемой области (до 5537.6 м<sup>3</sup>/сут), значительно возрастает приток сверху из коньяк-кампанского водоносного горизонта (3944.6 м<sup>3</sup>/сут) и приток снизу из верхнеальб-сеноманского водоносного комплекса (3645.6 м<sup>3</sup>/сут) (табл. 2). Водоотбор на конец эпигнозного периода также частично обеспечивается за счет сработки упругих запасов (1105.5 м<sup>3</sup>/сут). В два раза по сравнению с ненарушенным периодом уменьшается отток по внешним границам моделируемой области (1574.3 м<sup>3</sup>/сут), снижается отток вверх (до 137.3 м<sup>3</sup>/сут) и вниз (до 11.2 м<sup>3</sup>/сут).

На конец прогнозного периода суммарный водоотбор из верхнетуронского водоносного горизонта увеличится до 100558.4 м<sup>3</sup>/сут (табл. 3). Это составляет более 99% от суммы расходных статей балансовых составляющих потока подземных вод для верхнетуронского водоносного горизонта. Остальные расходные статьи в сумме составляют менее 1% и представлены оттоком вверх (420.4 м<sup>3</sup>/сут), оттоком вниз (40.3 м<sup>3</sup>/сут), а также оттоком по внешним границам модели (64.1 м<sup>3</sup>/сут). Водоотбор на конец прогнозного периода будет обеспечиваться за счет притока по внешним границам верхнетуронского водоносного горизонта (43833.2 м<sup>3</sup>/сут), притока сверху из коньяк-кампанского водоносного горизонта (29021.7 м<sup>3</sup>/сут), притока снизу из верхнеальб-сеноманского водоносного комплекса (26777.6 м<sup>3</sup>/сут), а также сработки упругих запасов верхнетуронского водоносного горизонта (1450.79 м<sup>3</sup>/сут).

Ухудшение качества подземных вод эксплуатируемого верхнетуронского водоносного горизонта Кызылжарминского месторождения возможно в основном за счет перетекания солоноватых подземных вод из маастрихтского, коньяк-кампанского и верхнеальб-сеноманского горизонтов. С целью прогнозирования изменения качества подземных вод Кызылжарминского месторождения на созданной модели была решена задача переноса потоком подземных вод растворенных в ней компонентов. Математическая модель переноса в общем случае описывается следующим уравнением

$$\frac{\partial(\theta C^k)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \theta D_{ij} \frac{\partial C^k}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} (\theta v_i C^k) + q_s C_s^k,$$

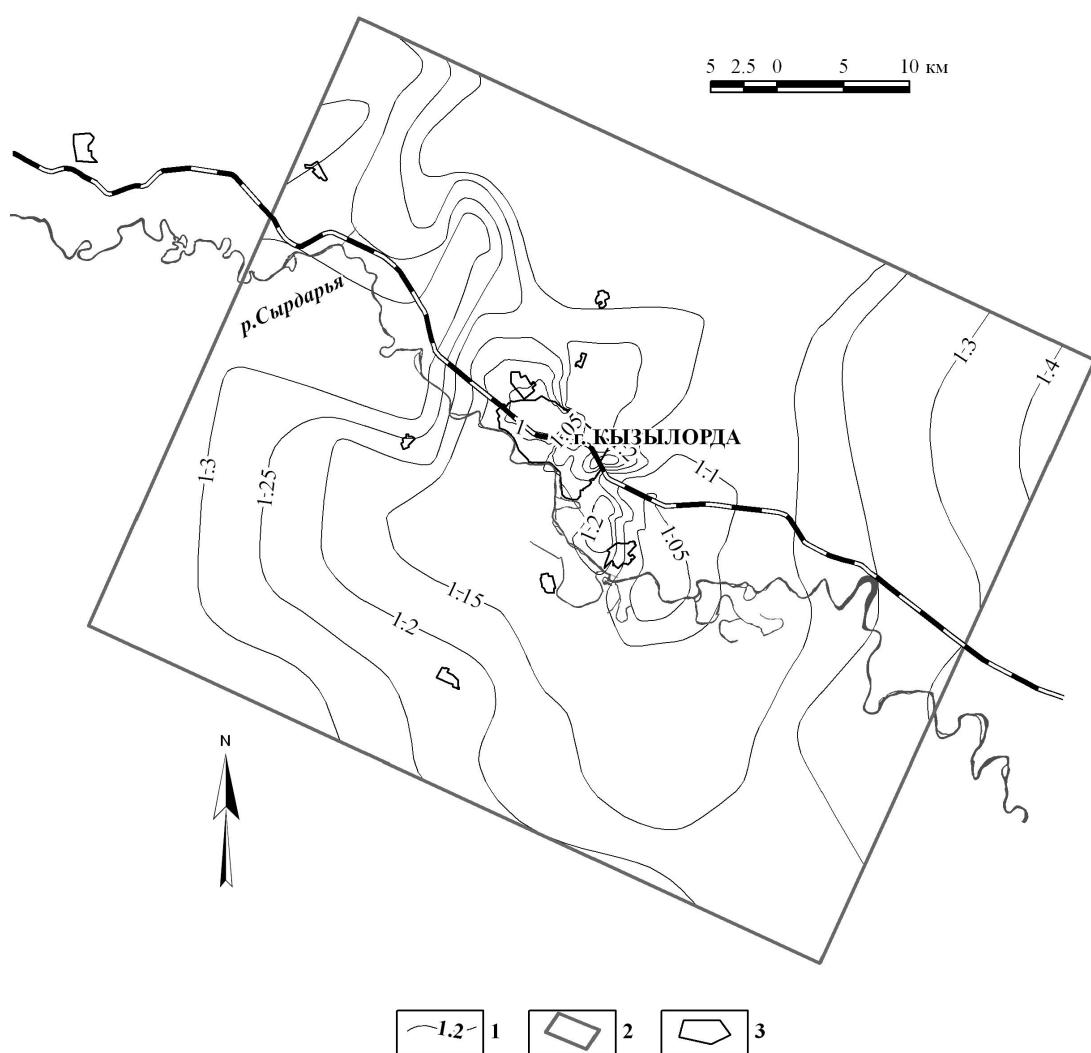


Рис.2 – Карта прогнозной минерализации подземных вод верхнетуронского водоносного горизонта  
(по состоянию на 16.02.2038 г.)

1 – изолинии прогнозной минерализации. Цифра – вес изолинии,  $\text{г}/\text{дм}^3$ ;  
2 – граница моделируемой области; 3 – населенные пункты.

где  $C^k$  – концентрация растворенного  $k$ -го компонента ( $\text{ML}^{-3}$ );  $\theta$  – пористость фильтрационной среды, безразмерная величина;  $t$  – время;  $x_i$  – координата, соответствующая  $i$ -ой декартовой оси координат, ( $\text{L}$ );  $D_{ij}$  – тензор коэффициента гидродинамической дисперсии ( $\text{L}^2\text{T}^{-1}$ );  $v_i$  – скорость фильтрации ( $\text{LT}^{-1}$ ); она определяется как поток Дарси через отношение  $v_i = q_i / \theta$ ;  $q_s$  – объемный поток на единицу объема водоносного горизонта, представляющий источник (положительный) или сток (отрицательный) ( $\text{T}^{-1}$ );  $C_s^k$  – концентрация растворенного  $k$ -го компонента в источнике или стоке ( $\text{ML}^{-3}$ ).

Для решения этого уравнения был использован модуль MT3D системы моделирования GMS 6.0 [4]. Математическая модель имитировала конвективный перенос растворенных в подземной воде компонентов. Считалось, что минерализация подземных вод маастрихтского водоносного горизонта равна  $4 \text{ г}/\text{дм}^3$  и не изменяется в процессе решения прогнозной задачи. Начальные значения минерализации подземных вод коньак-кампанского, верхнетуронского водоносных горизонтов и верхнеальб-сеноманского водоносного комплекса для решения прогнозной задачи задавались на основании соответствующих карт, построенных на 1.10.2010 г.

Карта прогнозной минерализации подземных вод верхнетуронского водоносного горизонта (по состоянию на 16.02.2038 г.) приведена на рис. 2. Наибольшая минерализация подземных вод достигнет 1.33 г/дм<sup>3</sup> к концу прогнозного периода. Наибольшее увеличение минерализации подземных вод (на 0.22 г/дм<sup>3</sup>) произойдет в скважинах, для которых прогнозируется максимальная глубина залегания динамического уровня на конец прогнозного периода (129.81м).

Расчет концентрации сульфатов в подземных водах верхнетуронского водоносного горизонта по эксплуатационным скважинам Кызылжарминского месторождения выполнялся аналитическим методом на основе рассчитанной методом моделирования прогнозной минерализации. Максимальная концентрация сульфатов по месторождению достигает 44.84%. При минерализации 1.121 г/дм<sup>3</sup> абсолютная концентрация сульфатов составляла 0.3412 г/дм<sup>3</sup>. Концентрация сульфатов в подземных водах для каждой водозаборной скважины на конец прогнозного периода рассчитывалась из соотношения

$$C_{SO_4} = C * 0.3412 / 1.121,$$

где С – прогнозная минерализация подземных вод, г/дм<sup>3</sup>.

По результатам расчетов можно сделать вывод, что вследствие массированного водоотбора из верхнетуронского водоносного горизонта Кызылжарминского месторождения произойдет ухудшение качества подземных вод, но их минерализация не превысит 1.5 г/дм<sup>3</sup> на конец прогнозного периода. Максимальная концентрация сульфатов в подземных водах достигнет 0,406 г/дм<sup>3</sup>, но не превысит максимально допустимой 0.5 г/дм<sup>3</sup>.

Таким образом, эксплуатационные запасы Кызылжарминского месторождения подземных вод по гидродинамическим критериям и критериям качества являются обоснованными.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Паничкин В.Ю., Мирошниченко О.Л., Трушель Л.Ю., Захарова Н.М. Концепции математического моделирования Кызылжарминского месторождения подземных вод с целью оценки его запасов // Известия НАН РК. Серия геологическая. 2011. №2. С. 49–53.

2. Веселов В.В., Паничкин В.Ю. Геоинформационно-математическое моделирование гидрогеологических условий Восточного Приаралья. Алматы: ТОО «Комплекс», 2004. - 428с.

3 Паничкин В.Ю. Геоинформационно-математическое моделирование гидрогеологических систем Казахстана. Автореф. ... докт. техн. наук: 25.00.07. Алматы: Институт гидрогеологии и гидрофизики им. У.М. Ахмедсафина МОН РК, 2004. 48с.

4. GMS 6.0 Tutorials. 2005. Vol. 1, Vol. 2, Vol. 3, Vol. 4.