

ISSN 2224-5278

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

NEWS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ГЕОЛОГИЯ ЖӘНЕ ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР
СЕРИЯСЫ



СЕРИЯ

ГЕОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК



SERIES

OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

4 (418)

ШІЛДЕ – ТАМЫЗ 2016 ж.

ИЮЛЬ – АВГУСТ 2016 г.

JULY – AUGUST 2016

ЖУРНАЛ 1940 ЖЫЛДАН ШЫҒА БАСТАҒАН

ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 1940 г.

THE JOURNAL WAS FOUNDED IN 1940.

ЖЫЛЫНА 6 РЕТ ШЫҒАДЫ

ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД

PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

АЛМАТЫ, ҚР ҰҒА
АЛМАТЫ, НАН РК
ALMATY, NAS RK

Б а с р е д а к т о р

ҚР ҰҒА академигі

Ж. М. Әділов

ҚР ҰҒА корр. мүшесі **М. Ш. Өмірсеріков**
(бас редактордың орынбасары)

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

геогр. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Бейсенова А.С.**; хим. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Бишімбаев У.К.**; геол.-мин. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Ерғалиев Г.Х.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Қожахметов С.М.**; геол.-мин. ғ. докторы, академик НАН РК **Курскеев А.К.**; геол.-мин. ғ. докторы, проф., академик НАН РК **Оздоев С.М.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Рақышев Б.Р.**; геол.-мин. ғ. докторы **Рақышев Б.М.**; геогр. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Северский И.В.**; ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Сеитов Н.С.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбішева З.С.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Бүктүков Н.С.**; геогр. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Медеу А.Р.**; геол.-мин. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Сейітмұратова Э.Ю.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Тәткеева Г.Г.**; техн. ғ. докторы **Абаканов Т.Д.**; геол.-мин. ғ. докторы **Абсаметов М.К.**; геол.-мин. ғ. докторы, проф. **Байбатша Ә.Б.**; геол.-мин. ғ. докторы **Беспаев Х.А.**; геол.-мин. ғ. докторы **Нигматова С.А.**; геол.-мин. ғ. докторы, ҚР ҰҒА академигі **Сыдықов Ж.С.**; геол.-мин. ғ. кандидаты, проф. **Жуков Н.М.**; жауапты хатшы **Толубаева З.В.**

Р е д а к ц и я к ең с е с і:

Әзірбайжан ҰҒА академигі **Алиев Т.** (Әзірбайжан); геол.-мин. ғ. докторы, проф. **Бакиров А.Б.** (Қырғызстан); Украинаның ҰҒА академигі **Булат А.Ф.** (Украина); Тәжікстан ҰҒА академигі **Ганиев И.Н.** (Тәжікстан); доктор Ph.D., проф. **Грэвис Р.М.** (США); Ресей ҰҒА академигі РАН **Конторович А.Э.** (Ресей); геол.-мин. ғ. докторы, проф. **Курчавов А.М.** (Ресей); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **Постолатий В.** (Молдова); жаратылыстану ғ. докторы, проф. **Степанец В.Г.** (Германия); Ph.D. докторы, проф. **Хамфери Дж.Д.** (АҚШ); доктор, проф. **Штейнер М.** (Германия)

Главный редактор

академик НАН РК

Ж. М. Адилов

чл.-корр. НАН РК **М. Ш. Омирсериков**
(заместитель главного редактора)

Редакционная коллегия:

доктор геогр. наук, проф., академик НАН РК **А.С. Бейсенова**; доктор хим. наук, проф., академик НАН РК **В.К. Бишимбаев**; доктор геол.-мин. наук, проф., академик НАН РК **Г.Х. Ергалиев**; доктор техн. наук, проф., академик НАН РК **С.М. Кожаметов**; доктор геол.-мин. наук, академик НАН РК **А.К. Курскеев**; доктор геол.-мин. наук, проф., академик НАН РК **С.М. Оздоев**; доктор техн. наук, проф., академик НАН РК **Б.Р. Ракишев**; доктор геол.-мин. наук **Б.М. Ракишев**; доктор геогр. наук, проф., академик НАН РК **И.В. Северский**; член-корреспондент НАН РК **Н. С. Сеитов**; доктор техн. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **З.С. Абишева**; доктор техн. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Н.С. Буктуков**; доктор геогр. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **А.Р. Медеу**; доктор геол.-мин. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Э.Ю. Сейтмуратова**; докт. техн. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Г.Г. Таткеева**; доктор техн. наук **Т.Д. Абаканов**; доктор геол.-мин. наук **М.К. Абсаметов**; докт. геол.-мин. наук, проф. **А.Б. Байбатша**; доктор геол.-мин. Наук **Х.А. Беспаяев**; доктор геол.-мин. наук **С.А. Нигматова**; доктор геол.-мин. наук, академик НАН РК **Ж.С. Сыдыков**; кандидат геол.-мин. наук, проф. **Н.М. Жуков**; ответственный секретарь **З.В. Толубаева**

Редакционный совет

академик НАН Азербайджанской Республики **Т. Алиев** (Азербайджан); доктор геол.-мин. наук, проф. **А.Б. Бакиров** (Кыргызстан); академик НАН Украины **А.Ф. Булат** (Украина); академик НАН Республики Таджикистан **И.Н. Ганиев** (Таджикистан); доктор Ph.D., проф. **Р.М. Грэвис** (США); академик РАН **А.Э. Конторович** (Россия); доктор геол.-мин. наук **А.М. Курчавов** (Россия); академик НАН Республики Молдова **В. Постолатий** (Молдова); доктор естественных наук, проф. **В.Г. Степанец** (Германия); доктор Ph.D., проф. **Дж.Д. Хамфери** (США); доктор, проф. **М. Штейнер** (Германия)

«Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук». ISSN 2224-5278

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №10892-Ж, выданное 30.04.2010 г.

Периодичность: 6 раз в год

Тираж: 300 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,
<http://nauka-nanrk.kz/geology-technical.kz>

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2016

Адрес редакции: Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Кабанбай батыра, 69а.

Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева, комната 334. Тел.: 291-59-38.

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75

Editor in chief

Zh. M. Adilov,

academician of NAS RK

M. Sh. Omirserikov, corr. member of NAS RK
(deputy editor in chief)

Editorial board:

A.S. Beisenova, dr. geogr. sc., prof., academician of NAS RK; **V.K. Bishimbayev**, dr. chem. sc., prof., academician of NAS RK; **G.Kh. Yergaliev**, dr. geol.-min. sc., prof., academician of NAS RK; **S.M. Kozhakhmetov**, dr. eng. sc., prof., academician of NAS RK; **A.K. Kurskeev**, dr. geol.-min. sc., academician of NAS RK; **S.M. Ozdoyev**, dr. geol.-min. sc., prof., academician of NAS RK; **B.R. Rakishev**, dr. eng. sc., prof., academician of NAS RK; **B.M. Rakishev**, dr. geol.-min. sc.; **I.V. Severskiy**, dr. geogr. sc., prof., academician of NAS RK; **B.M. Rakishev**, corr. member of NAS RK; **Z.S. Abisheva**, dr. eng. sc., prof., corr. member of NAS RK; **N.S. Buktukov**, dr. eng. sc., prof., corr. member of NAS RK; **A.R. Medeu**, dr. geogr. sc., prof., academician of NAS RK; **E.Yu. Seytmuratova**, dr. geol.-min. sc., prof., corr. member of NAS RK; **G.G. Tatkeeva**, dr. eng. sc., prof., corr. member of NAS RK; **T.D. Abakanov**, dr. eng. sc., academician of KazNANS; **M.K. Absametov**, dr. geol.-min. sc., academician of KazNANS; **A.B. Baibatsha**, dr. geol.-min. sc., prof.; **Kh.A. Bespayev**, dr. geol.-min. sc., academician of IAMR; **S.A. Nigmatova**, dr. geol.-min. sc.; **Zh.S. Sydykov**, dr. geol.-min. sc., academician of NAS RK; **N.M. Zhukov**, cand. geol.-min. sc., prof.; **Z.V. Tolybayeva**, secretary

Editorial staff:

T. Aliyev, NAS Azerbaijan academician (Azerbaijan); **A.B. Bakirov**, dr. geol.-min. sc., prof. (Kyrgyzstan); **A.F. Bulat**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **I.N. Ganiev**, NAS Tajikistan academician (Tajikistan); **R.M. Gravis**, Ph.D., prof. (USA); **A.E. Kontorovich**, RAS academician (Russia); **A.M. Kurchavov**, dr. geol.-min. sc. (Russia); **V. Postolatiy**, NAS Moldova academician (Moldova); **V.G. Stepanets**, dr. nat. sc., prof. (Germany); **J.D. Hamferi**, Ph.D, prof. (USA); **M. Steiner**, dr., prof. (Germany).

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technology sciences. ISSN 2224-5278

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of information and archives of the Ministry of culture and information of the Republic of Kazakhstan N 10892-Ж, issued 30.04.2010

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 300 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,
<http://nauka-nanrk.kz/geology-technical.kz>

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2016

Editorial address: Institute of Geological Sciences named after K.I. Satpayev
69a, Kabanbai batyr str., of. 334, Almaty, 050010, Kazakhstan, tel.: 291-59-38.

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 4, Number 418 (2016), 93 – 102

**BASICS OF GROUNDWATER RESOURCES ASSESSMENT
USING MATHEMATICAL MODELLING
(ON AN EXAMPLE OF KASKELLEN GROUNDWATER FIELD)**

T. A. Rakhimov¹, D. K. Kalitov², V. S. Salybekova¹

¹NJSC “KazNITU after K. I. Satpayev”, Almaty, Kazakhstan,

²LLP “Geotherm” Production Company”, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: t-rakhimov@mail.ru; d_kalitov62@mail.ru; salybekova_v@mail.ru

Keywords: hydrogeology, mathematical modeling, geoinformational systems, groundwater resources assessment.

Abstract. Perspectives of using computer modeling for estimation groundwater balance, groundwater resources and its prevention from depletion and pollution are shown in the article. It describes the main features of hydrogeological conditions formation, basics of groundwater modeling, results of intensive groundwater use during exploitation in areas of large cities and urban areas. Compared forecast data from previous works and actual operating data for Kaskelen groundwater field. Specified rational approach of groundwater assessment and reassessment on real objects. Proved efficiency of groundwater management on well fields during exploitation by creating real-time numerical models, which should become an integral part of the direct monitoring on groundwater fields.

УДК 556.3.048(047.34)(574.57)

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

Т. А. Рахимов¹, Д. К. Калитов², В. С. Салыбекова¹

¹Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева,
Алматы, Казахстан,

²ТОО «Производственная компания «Геотерм», Алматы, Казахстан

Ключевые слова: гидрогеология, математическое моделирование, геоинформационные системы, пере- оценка эксплуатационных запасов подземных вод.

Аннотация. 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. Доказано, что наиболее эффективное управление эксплуатацией месторождений подземных вод достигается путем создания постоянно действующих математических моделей, которые должны стать непосредственной составляющей частью мониторинга на месторождениях подземных вод.

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 [1].

В Государственной Программе по форсированному индустриально-инновационному развитию Республики Казахстан на 2010–2014 гг. отмечается необходимость перехода на новые современные технологии экспертизы запасов на основе компьютерного моделирования месторождений полезных ископаемых, автоматизированных комплексов оценки и подсчета запасов [2].

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 [3]. 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 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 [4, 5].

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) [6].

Разведка и оценка эксплуатационных запасов подземных вод (далее ЭЗПВ), на которых базируется современное водоснабжение крупных городов и районных центров в основном была выполнена в 60–80-х 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 водохозяйственной 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» по доразведке с целью переоценки эксплуатационных запасов подземных вод Каскеленского, Восточно-Талгарского, Узынагашского, Боралдайского, Нарынкольского, Сарыюзекского, Лепсинского, Исыкского, 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 (рисунки 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.

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 [7].

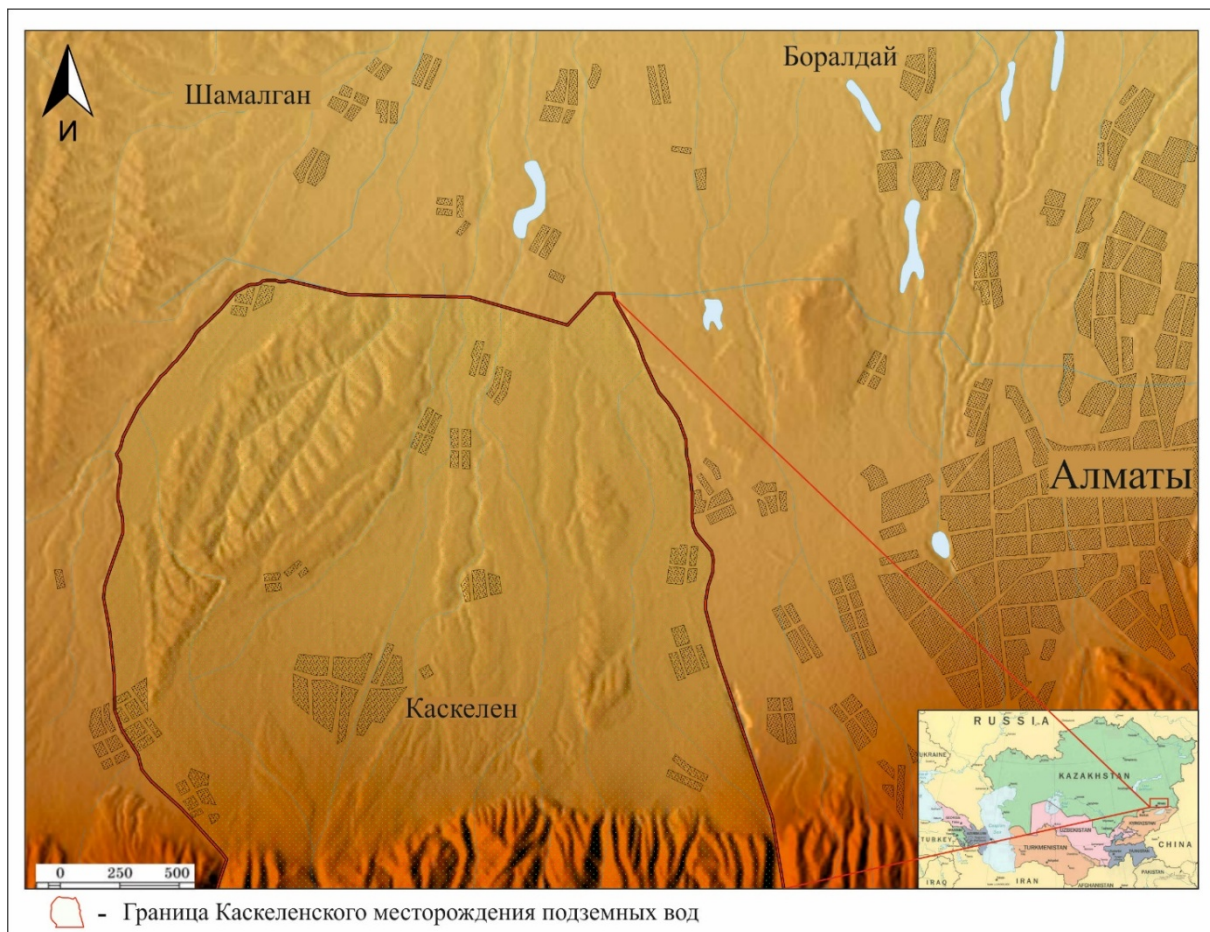


Рисунок 1 – Обзорная карта Каскеленского месторождения подземных вод

Figure 1 – Overview of Kaskelen well field

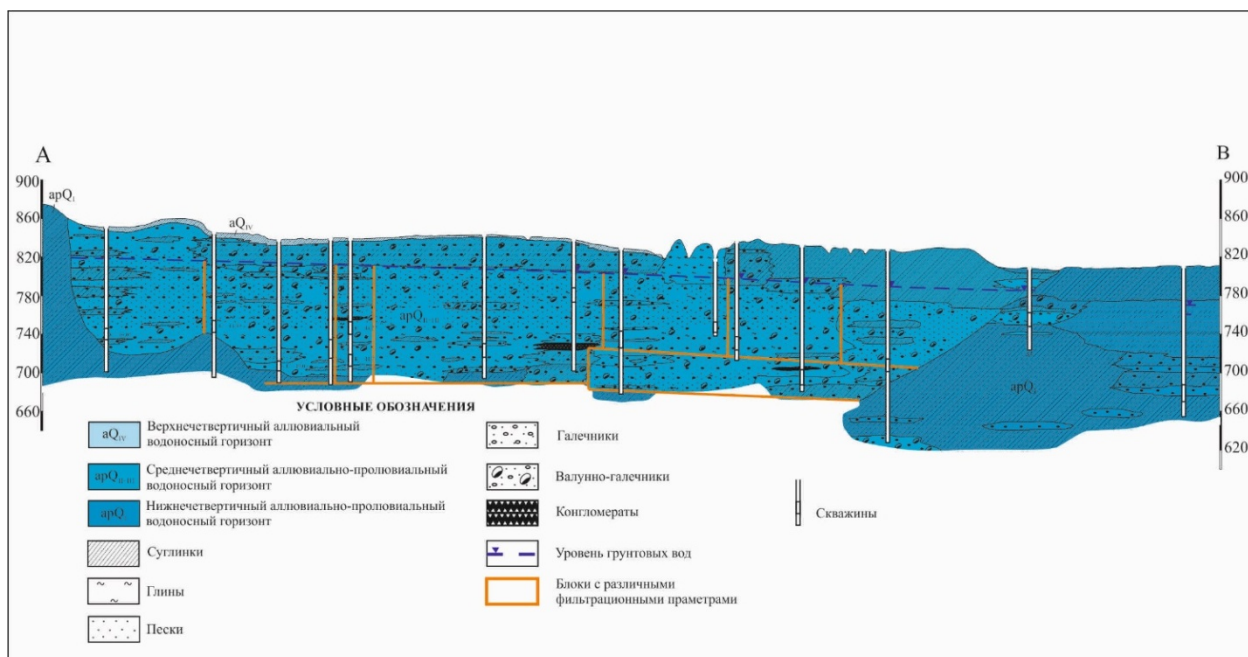


Рисунок 2 – Гидрогеологический разрез Каскеленского месторождения подземных вод

Figure 2 – Hydrogeological cross-section of Kaskelen well field

В административном отношении территория месторождения входит в состав Карасайского района Алматинской области. Крупными населенными пунктами района являются город Каскелен, поселки Ушканыр, Жамбыл, Улан и др. Общая потребность в воде составляет 22,8 тыс. м³/сут, на перспективу 124,4 тыс. м³/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 VisualModFlowPremium 2012.2. При этом, в модель введены данные эксплуатационных скважин, находящихся в пределах радиуса влияния. Всего обработана информация по 180 скважинам района работ [5].

Гидрогеологические условия в плане были схематизированы в виде области фильтрации размерами 41x56,3 км, общей площадью 2308,3 км². 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 (рисунок 3).

Гидрогеологические условия в разрезе приняты по результатам анализа геологической и гидрогеологической информации (рисунок 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-пролювиальных 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 ($\Delta Q = \text{const} = 0$);

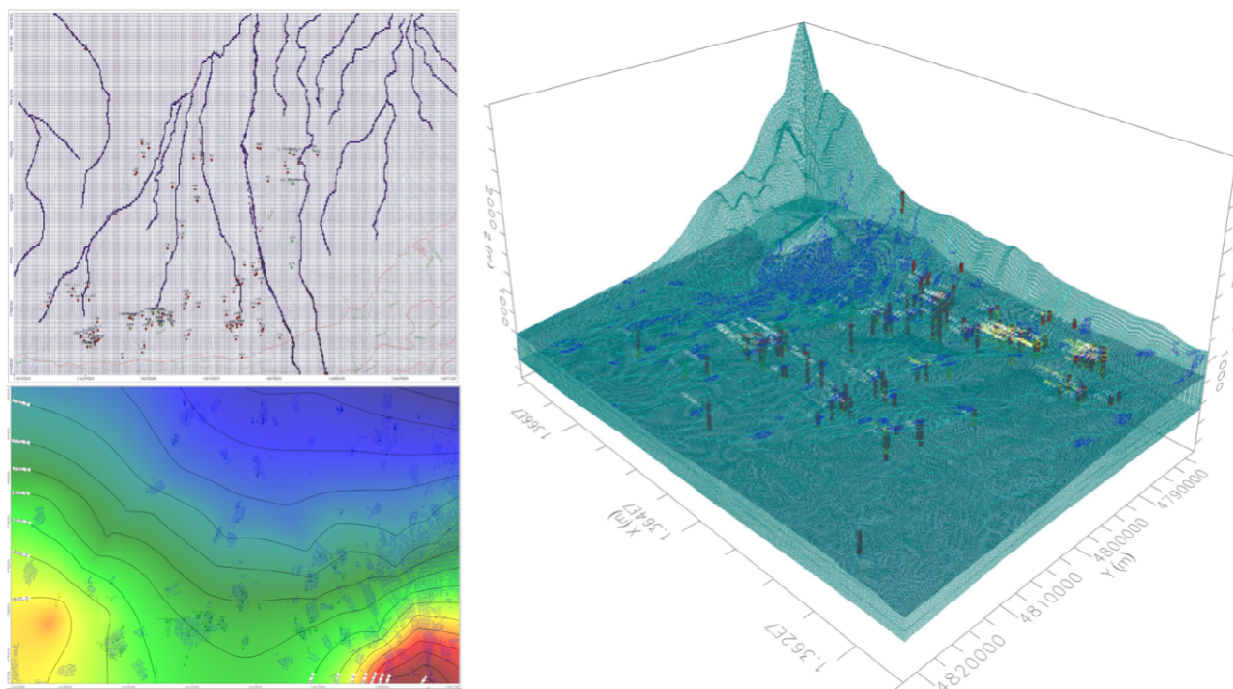


Рисунок 3 – Карта-схема распределения граничных условий по расчётной области

Figure 3 – Boundary conditions of the conceptual model

Внутренние граничные условия схематизированы следующим образом:

– по руслам рр. Чемолган, Каскелен, Аксай, Большая Алматинка, Малая Алматинка – граничное условие II рода ($H = \text{const}$) точечные стоки от работы водозаборов – переменный во времени расход [$Q_{\text{в}} = f(t)$] в точках расположения водозаборных скважин. Нагрузки на водозаборы распределены в соответствии с фактическими данными о среднегодовом водоотборе.

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 натуральных абсолютных отметок по 18 опорным скважинам показано на рисунке 4 и сведено в таблицу.

Результаты расчета погрешности решения обратной стационарной задачи: средняя ошибка (*MeanError*), средняя ошибка по абсолютной величине (*MeanAbs. Error*) и среднеквадратическая ошибка (*RootMeanSq. Error*) в метрах определены по следующим зависимостям [8, 9]:

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.

Средняя ошибка по абсолютной величине рассчитывается по формуле:

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

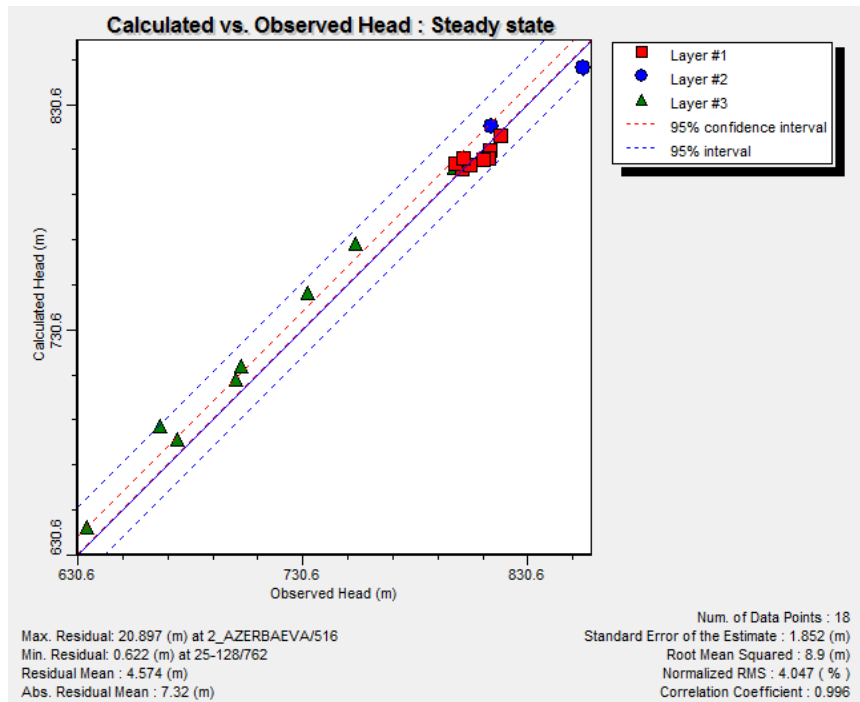


Рисунок 4 – График распределения среднеквадратичной ошибки по данным решения обратной стационарной задачи

Figure 4 – Graph of the mean square error distribution by the results of steady state flow solution

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

Table 1 – Differences between actual and model groundwater levels by the results of steady state flow (defined level on 1965–1966 years before exploitation)

№ п/п	№ скважин	Абсолютная отметка исходного уровня по данным за 1965–1966 гг., м	Абсолютная отметка уровня, по результатам моделирования, м	Погрешность	
				абсолютная, м	относительная, %
1	323	817.41	817.70	0.29	0.54
2	410	822.05	816.70	5.35	2.31
3	169/442(257)	804.38	803.90	0.48	0.69
4	25/128(5)	803.17	802.00	1.17	1.08
5	325	799.77	804.60	4.83	2.20
6	422	819.27	807.00	12.27	3.50
7	423	818.84	807.00	11.84	3.44
8	58	819.71	806.70	13.01	3.61
9	416	815.56	810.30	5.26	2.29
10	84Д	813.56	803.60	9.96	3.16
11	56	814.79	809.80	4.99	2.23
12	1209	800.20	802.70	2.50	1.58
13	1317/12(182)	851.29	852.80	1.51	1.23
14	336/8	867.97	846.90	21.07	4.59
15	236/6	858.08	843.30	14.78	3.84
16	228/4	845.86	840.80	5.06	2.25
17	353/3	847.16	841.10	6.06	2.46
	Среднее			7.08	2.41

Среднеквадратическая ошибка вычисляется из соотношения:

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

На рисунке 4 приведена копия экрана, сделанная в процессе работы с ModFlow и отображающая результаты расчета погрешности решения обратной стационарной задачи. График показывает соотношение вычисленных (*Computed*) и фактически замеренных уровней (*Observed*) по наблюдательным скважинам, доказывающая высокую сходимость значений и соответствие модельных условий реальным.

Балансовое уравнение по месторождению имеет следующий вид:

$$Q_{\text{пов}} + Q_{\text{ос}} + Q_{\text{пр}} = Q_{\text{исп}} + Q_{\text{отб}} + Q_{\text{звп}} + Q_{\text{под.отг}}, \quad (4)$$

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

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

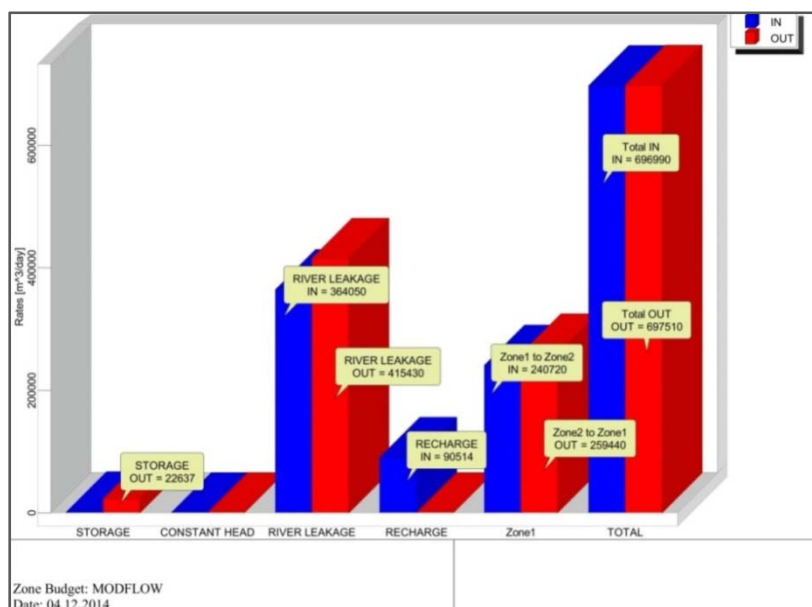


Рисунок 5 – Элементы баланса подземных вод по результатам решения обратной стационарной задачи

Figure 5 – Groundwater balance by the results of steady state solution

По результатам решения обратной стационарной задачи можно сделать следующие выводы:

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

2. Естественные ресурсы подземных вод составляют 8,06 м³/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 (10 000 суток) и сравнения их с величиной допустимого понижения подземных вод, полученной по результатам аналитических расчетов.

При решении прогнозных 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, Борлдайского и Алматинского месторождений подземных вод, расположенных в пределах радиуса влияния водозабора 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 прогнозных задачи представлены на карте-схеме (рисунок 6).

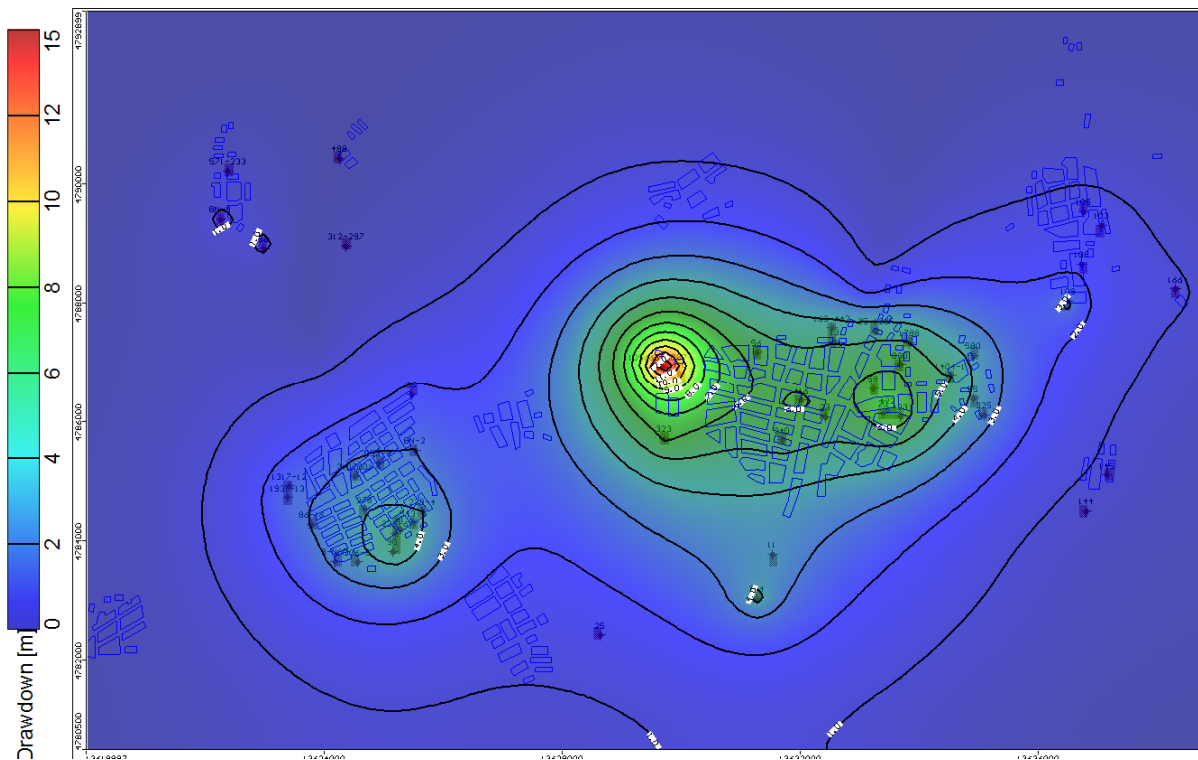


Рисунок 6 – Карта понижений по данным решения прогнозных задач для Каскеленского месторождения подземных вод

Figure 6 – Drawdown by the results of transient flow solution on Kaskelen well field

Водоотбор был задан с учетом максимальной производительности скважин 124 200 м³/сут. Сумма расходных статей баланса подземных вод водозаборов не превышает естественных ресурсов. Баланс водозабора обеспечивается сработкой емкостных запасов подземных вод водоносного горизонта. Наиболее заметно влияние от работы водозабора проявляется на центральном водозаборе г. Каскелен. Статические запасы составляют 1103,67 км³. Расход естественного потока по профилю конуса выноса составляет 1565 л/с. Фактический водоотбор по скважинам на 2013–2014 гг. составляет 16 052 м³/сутки. Суммарный максимальный расчетный дебит по водозаборам составляет 124,2 тыс. м³/сутки. По данным математического моделирования и гидродинамических расчетов понижение уровней воды на расчетный срок эксплуатации не превысит 15–22 м. Питание горизонта происходит в основном за счет инфильтрации воды из рек и временных водотоков, фильтрации атмосферных осадков и притоку 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. Каскелен и близлежащих населенных пунктов.

Доказана возможность длительной эксплуатации подземных вод Каскеленского месторождения (10 000 сут) с отбором их в количестве 124,2 тыс.м³/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-е 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 городской 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.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Стратегический план развития Республики Казахстан до 2020 года, утвержденный Указом Президента Республики Казахстан от 1 февраля 2010 года № 922.

[2] Указ Президента Республики Казахстан от 19 марта 2010 года № 958 «О Государственной программе по форсированному индустриально-инновационному развитию Республики Казахстан на 2010–2014 годы и признании утратившими силу некоторых указов Президента Республики Казахстан».

[3] Инструкция о требованиях к представляемым на государственную экспертизу материалам переоценки эксплуатационных запасов подземных вод (питьевых, технических, минеральных, промышленных и теплоэнергетических) утверждённая приказом Председателя Комитета геологии и охраны недр Министерства энергетики и минеральных ресурсов Республики Казахстан от 13 августа 2004 года.

[4] Отчет о результатах доразведки с целью переоценки запасов подземных вод Восточно-Талгарского и Боралдайского месторождений в Алматинской области. Рахимов Т. А., Салыбекова В. С. – Алматы, 2014.

[5] Отчет о результатах доразведки с целью переоценки запасов подземных вод Баканасского, Иссыкского и Каскеленского месторождений в Алматинской области. Салыбекова В.С., Тубагабилов Д.Т., Рахимов Т.А. – Алматы, 2014.

[6] Методика переоценки запасов питьевых и технических подземных вод разведанных и оцененных месторождений в нераспределенном фонде недр московского региона. Боровский Б.В., Язвин А.Л.

[7] Шестаков В.Ф., Коростова Г.Т. Каскеленское месторождение подземных вод. Отчет Алма-Атинской гидрогеологической партии по работам 1961–1965 гг. – Алма-Ата: РГФ, 1965.

[8] 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.

[9] Moench A.F. Flow to a well in a water-table aquifer: an improved Laplace transform solution // Ground Water. – 1996. – Vol. 34, N 4. – P. 593-596.

REFERENCES

[1] Strategic Plan for the Kazakhstan future development till 2020, approved by Republic of Kazakhstan President Decree dated from February 1, 2010, N 922.

[2] Decree of the President of the Republic of Kazakhstan dated from March 19, 2010 N 958 "On the State program for accelerated industrial-innovative development for Kazakhstan on 2010–2014".

[3] Instruction on the requirements for state examination by the results on groundwater reassessment (drinking, technical, mineral, industrial and thermal needs) approved by the Chairman of the Committee of Geology and Subsoil Protection of the Ministry of Energy and Mineral Resources of the Republic of Kazakhstan dated from August 13, 2004.

[4] Report on the results of further assessment of East Talgar and Boraldai groundwater fields in Almaty region. Rakhimov T., Salybekova V. Almaty, 2014.

[5] Report on the results of further assessment of Bakanas, Issyk and Kaskelen groundwater fields in Almaty region. Rakhimov T., Salybekova V. Almaty, 2014.

[6] Methodic of groundwater reserves reassessment for drinking and technical needs on explored and evaluated needs in Moscow region. Borevskiy B., Yazvin A.

[7] Kaskelen groundwater field // Report of Almaty hydrogeological party. Shestakov V., Korostova A. Almaty: RGF, 1965.

[8] 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.

[9] Moench A.F. Flow to a well in a water-table aquifer: an improved Laplace transform solution // Ground Water. 1996. Vol. 34, N 4. P. 593-596.

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

Т. А. Рахимов¹, Д. К. Калитов², В. С. Салыбекова¹

¹ Қ. И. Сәтбаев атындағы қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан,

² ЖШС «Производственная компания «Геотерм», Алматы, Қазақстан

Түйін сөздер: гидрогеология, математикалық модельдеу, геоақпараттық жүйелер, жер асты суларының қорларын қайта бағалау.

Аннотация. Жер асты суларының эксплуатациялық қорының сарқылмау мен және ластанбаудан қорғау мөлшерін, есептеу мен қайта есептеуге қатысты есептерді шешудегі ақпараттық технологиялардың қолданылуын дамыту түсініктемесі берілген. Үлкен қалалар және қалалық агломерациялар аумағындағы жерасты суларын белсенді түрде эксплуатацияның 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 мысал – нысандарында жүзеге асырылатын жерасты су қорларын қайта есептеудің рационалды әдістері ұсынылған.

Поступила 31.05.2016 г.

Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

[www:nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)

<http://geolog-technical.kz/index.php/kz/>

Верстка *Д. Н. Калкабековой*

Подписано в печать 15.07.2016.
Формат 70x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
7,5 п.л. Тираж 300. Заказ 4.