

УДК 28,50, 519.876.5

А.В. Малков, И.М. Першин, И.С. Помеляйко**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КИСЛОВОДСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
УГЛЕКИСЛЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД**

Известно, что при исследовании гидролитосферных процессов, используются различные модели: гидравлические, плоские, плоско-пространственные и пространственные. Каждое из исследуемых месторождений оригинально, математические модели по структуре могут быть близки, но параметры, используемые в математических моделях, для каждого месторождения оригинальны. Определение этих параметров для рассматриваемого месторождения очень трудоемкая и важная задача. Рассматривается проблема построения математической модели гидролитосферных процессов Кисловодского месторождения минеральных вод. Гидродинамический и гидрогеохимический режимы водоносных горизонтов характеризуются высокой динамичностью, и зависят как от природных, так и техногенных факторов. Рассматриваемое месторождение изучается около века, однако ответы на все вопросы так и не получены, что во многом объясняется сложностью геологического строения месторождения. Математическая модель месторождения описывается уравнениями в частных производных, отражающих плоско-пространственный процесс фильтрации и массопереноса. Исходя из особенностей геолого-гидрогеологического строения, приводится трехслойная плоско-пространственная модель геофильтрации, включающая верхний – напорно-безднапорный верхневаланжинский водоносный подгоризонт, и два напорных: нижневаланжинский подгоризонт и титонский горизонт. Емкостные и фильтрационные свойства водоносных горизонтов определялись по результатам опытно-фильтрационных работ с использованием существующих эксплуатационных скважин. Эта работа для рассматриваемого месторождения, проделана впервые авторами статьи. Фильтрационная область принимается кусочно-однородной. Возможность такого допущения подтверждается геофизическими исследованиями. Результаты верификации математической модели Кисловодского месторождения приведены в статье. Цель работы – разработка математической модели Кисловодского месторождения минеральных вод. Несмотря на высокую сложность геолого-гидрогеологического строения, модель довольно точно отражает процессы гидрогеодинамики и миграции, что подтверждается анализом ретроспективных данных за 11-летний период (2002–2013 гг.). Полученная математическая модель имеет не только научное значение (позволяет оценить взаимосвязи различных водоносных горизонтов и их развитие на близкую и отдаленную перспективы), но и важное практическое значение. Используя модель можно организовать оперативную и долгосрочную систему управления гидроминеральной базой месторождения, прогнозировать ситуацию с периодами упреждения до 10–20 лет.

Гидролитосфера; математическая модель; месторождение минеральных вод; верификация.

A.V. Malkov, I.M. Pershin, I.S. Pomelyayko**MATHEMATICAL OF KISLOVODSK DEPOSIT CARBON MINERAL WATER**

It is known that the study of gidrolitosfernyh processes used different models: hydraulic, flat, flat-spatial and spatial. Each of the original study fields, Mathematical models of the structure may be similar, but the parameters, used in mathematical models for each field original. Determination of these parameters for the given field area is very time-consuming and important task. The problem of constructing a mathematical model of the processes gidrolitosfernyh Kislovodsk mineral water. The hydrodynamic and hydrogeochemical regimes aquifers are characterized by highly dynamic, and depend on the natural and man-made factors. The subject field is studied for about a century, but the answers have not received, largely due to the complexity of the geological structure of the deposit. A mathematical model of the deposit described by partial differential equations, reflecting flat-spatial filtering process and mass transfer. On the basis of geological and hydrogeological characteristics of the structure, is a three-layer flat-spatial model geofiltration, including top – pressure-unconfined aquifer subhorizon verhnevalanzhinsky and two pressure: nizhnevalanzhinsky subhorizon and tithonian horizon. Capacity and filtration properties

of the aquifer were determined by the results of experimental-filtration works with existing production wells. This work is considered to deposit, done for the first time by the authors. The filtration area is taken piecewise smooth. The possibility of such an assumption is confirmed by geophysical surveys. Verification results of a mathematical model of Kislovodsk field are given in the article. Purpose - to develop a mathematical model of Kislovodsk me-deposits is mineral water. Despite the high complexity of the geological and hydrogeological structure model fairly accurately reflects the processes gidrogeodinamiki and migration, which is confirmed by the analysis of retrospective ion data for 11-year period (2002–2013 gg.). The resulting mathematical model not only has scientific importance (to evaluate the relationship of various aquifers and their development in the near and distant perspective), but also of great practical importance. Using the model can be organized and long-term operational management system hydromineral base of deposits, to predict the situation with feed forward periods up to 10–20 years.

Hydrolithosphere; mathematical model; filtration reservoir parameters; mineral waters; verification.

Актуальность. Кисловодское месторождение углекислых минеральных вод уникально во всех отношениях. Это касается и бальнеологических показаний минеральных вод, и геолого-гидрогеологического строения. По сложности строения Кисловодское месторождение относится к IV группе сложности (самые сложные), что объясняется наличием высокой неоднородности фильтрационных свойств, многопластовым строением, высокой гидравлической связью с поверхностными водами и водами инфильтрационного генезиса, наличием плановой и вертикальной гидрогеохимической зональности. Гидродинамический и гидрогеохимический режимы водоносных горизонтов характеризуются высокой динамичностью, и зависят как от природных, так и техногенных факторов. Кисловодское месторождение изучается около века, однако ответы на все вопросы так и не получены, что во многом это объясняется сложностью строения.

Согласно действующим рекомендациям основным методом подсчета эксплуатационных запасов для месторождений четвертой группы сложности является гидравлический. Особых возражений это положение не вызывает. Гидравлика базируется на фактически наблюдаемой динамике и химизме минеральных вод, и если ряды наблюдений достаточно представительны, то более достоверных данных, чем полученных экстраполяцией ретроспективы получить сложно. В то же время, гидравлический метод имеет ряд довольно существенных недостатков. Гидравлические методы требуют длительных натуральных наблюдений, определяемых отрезками времени более года, не раскрывают физики процесса, соотношение баланса водных потоков и изменения их во времени. Да и методы прогнозирования минерализации оставляют желать лучшего.

На эти вопросы дает ответ математическое моделирование. Однако и здесь существуют свои проблемы. Построение математической модели объекта сама по себе задача довольно сложная, требующая большого объема достоверной информации и более глубокого и детального изучения геолого-гидрогеологического строения объекта, знание емкостных и фильтрационных свойств, распределение их в пространстве, граничные условия в плане и разрезе, характер гидравлического взаимодействия отдельных водоносных горизонтов или пропластков, миграционных параметров. Получение такой информации связано со значительными капитальными вложениями, поскольку требуется постановка и проведение специальных опытно-фильтрационных работ, хорошо поставленный гидрогеологический мониторинг, да и сама режимная сеть должна отвечать повышенным требованиям. Все это существенным образом ограничивает применение математических методов на месторождениях четвертой группы сложности, и без сомнения пока еще гидравлический метод остается доминирующим, и это бесспорно.

В то же время, уровень компьютеризации, созданные пакеты прикладных программ, методов адаптации математических моделей, общие тенденции развития его в других естественных научных дисциплинах однозначно свидетельствуют о высокой эффективности метода. Уже в настоящее время на моделях прогнозируются популяции животных, климатические и метеорологические процессы, экологические системы.

В этом отношении геологические науки не являются каким-то исключением. На начальных этапах изучения, особенно в сложных геолого-гидрогеологических условиях, они выполняют вспомогательную роль, однако по мере насыщения информацией, адекватность моделей многократно возрастает, и с переходом на новый качественный уровень, роль моделирования может меняться. В любом случае, отказ от моделирования вообще это совершенно неверный подход, который не может быть оправдан сложностью объекта, или иными причинами.

Распределенные объекты, математические модели которых описываются уравнениями в частных производных, представляют большой и важный класс для исследования и практических разработок, к которым, к примеру относится описываемое месторождение. Системный анализ таких процессов связан с использованием специального, разработанного в последнее время, математического аппарата анализа и синтеза распределенных систем управления [1, 2]. Задача управления для распределенных систем формулируется следующим образом [3–7] – распределенный объект управления необходимо перевести из заданного состояния в желаемое (в соответствии с целевой функцией), при этом на траектории перехода накладываются дополнительные условия [8, 9, 14, 17]. При этом и целевые функции и траектории перехода представляют собой поля, изменяющиеся как в пространстве, так и во времени.

Для решения задачи синтеза распределенных систем управления [10, 11, 18–20] необходимо определить структуру и параметры математической модели, которая должна адекватно описывать исследуемый процесс. Особенно это относится к геологическим объектам, поскольку опытные исследования таких объектов сопряжены с большими затратами. При исследовании гидролитосферных процессов используются различные математические модели: гидравлические, плоские, плоско-пространственные и объемные. Каждая из рассмотренных моделей используется для различных целей.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые для Кисловодского месторождения авторами построена трехпластовая математическая модель геофильтрации и геомиграции, определены фильтрационные, емкостные свойства, параметры перетекания, сформулирована целевая функция.

Основными рабочими горизонтами месторождения, содержащими минеральные воды, отвечающие марке «Нарзан», являются (сверху-вниз) верхневаланжинский водоносный подгоризонт (K_1v_1), нижневаланжинский подгоризонт (K_1v_2) и титонский горизонт (J_3tt). Разрез и условия залегания водоносных горизонтов представлены на рис. 1.

Математическая модель Кисловодского месторождения. Математические модели строятся на принципах сохранения энергии или баланса, чаще всего это так называемые динамические модели, в основе которых лежит описание объекта дифференциальными уравнениями с определяемыми по эмпирическим данным параметрами. Математические модели несравненно более трудоемки по сравнению с гидравлическими, требуют значительно большего объема информации и знаний об объекте, однако и преимущества их перед гидравлическими очевидны. Они довольно точно описывают физику процесса, на их основе можно выполнять балансовые расчеты, прогнозировать динамику массопереноса. В общем случае

система исходных дифференциальных уравнений, описывающих плоско-пространственный процесс фильтрации и массопереноса, при некоторых допущениях может быть представлена следующим образом [1–3, 13, 14, 16]:

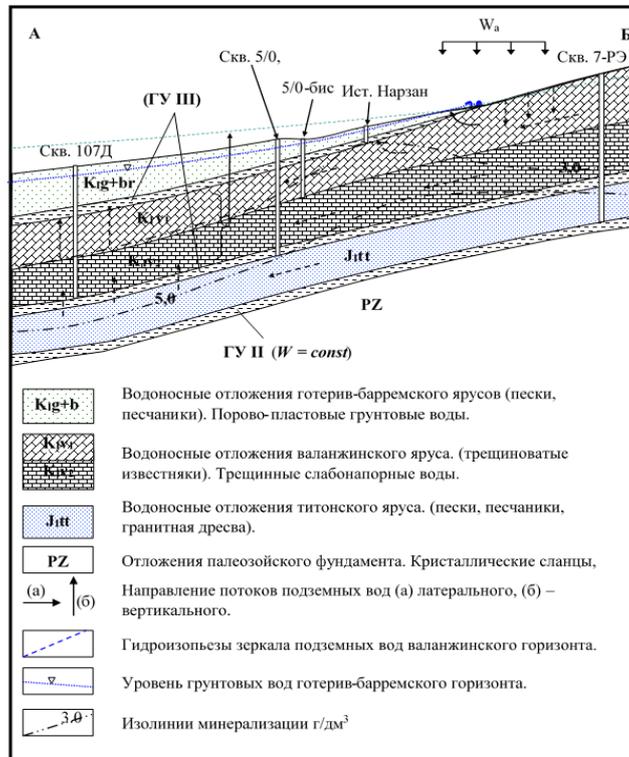


Рис. 1. Геолого-гидрогеологический разрез по Кисловодскому месторождению минеральных вод

$$\begin{cases} \mu^* \frac{\partial H}{\partial t} = km_x \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + km_y \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} + b_{k-1}(H_{k-1} - H) + b_{k+1}(H_{k+1} - H) \\ n_s \frac{\partial C}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - V_x \frac{\partial C}{\partial x} - V_y \frac{\partial C}{\partial y} - \frac{V_{zn} \cdot (C - C_n)}{m} + \frac{V_{zk} \cdot (C - C_k)}{m} \end{cases} \quad (1)$$

где μ^* – водоотдача пласта; b_k, b_n – параметр перетекания относительно водонепроницаемого пласта, залегающего в кровле и подошве; H – напор в изучаемом водоносном горизонте; H_k, H_n – напоры в смежных водоносных горизонтах: кровле и подошве соответственно; km – водопроводимость пласта; m – мощность водоносного горизонта; V_{zn}, V_{zk} – скорости перетекания воды через кровлю и подошву пласта соответственно; n_s – эффективная пористость. Эффективная пористость представляет собой: $n_s = n_a + 1/\beta$; где β – коэффициент распределения при сорбции. Для инертных в отношении сорбции компонентов $n_s = n_a$. Для хорошо сорбируемых $n_s > n_a$, и может значительно превышать единицу.

Как следует из (1) для решения задачи массопереноса требуется знание скорости фильтрации, и решение ее, осуществляется в два этапа. На первом решается задача геофильтрации в результате которой определяются скорости фильтрации и расходы потоков между центрами модельных блоков. На втором – собственно задача массопереноса.

Верификация математической модели. Исходя из особенностей геолого-гидрогеологического строения, рассматривалась трехслойная плоско-пространственная модель геофильтрации, включающая верхний – напорно-безнапорный верхневаланжинский водоносный подгоризонт, и два напорных: нижневаланжинский подгоризонт и титонский горизонт.

Емкостные и фильтрационные свойства водоносных горизонтов определялись по результатам опытно-фильтрационных работ. Средние значения параметров горизонтов сведены в табл. 1.

Таблица 1

Средние значения фильтрационных параметров водоносных горизонтов

Горизонт	Водопроницаемость $km\ m^2/сут.$	Водоотдача μ^*	Параметр перетекания b $сут^{-1}$
Верхневаланжинский	65	0,0001	0,0004
Нижневаланжинский	93	0,0001	0,000002
Титонский	7	0,001	

Граничные условия следующие.

Нижняя граница представлена как ГУ II рода с глубинным питанием на первом этапе ($W_r = const$) и инфильтрацией $W_a = f(t)$. Между водоносными горизонтами (перетекание) граничные условия заданы ГУ III ($Q = f(H)$).

Плановые границы модели на севере, западе и востоке заданы как ГУ II рода ($Q = const$). Южная граница как ГУ I рода ($H = const$), рис. 2.

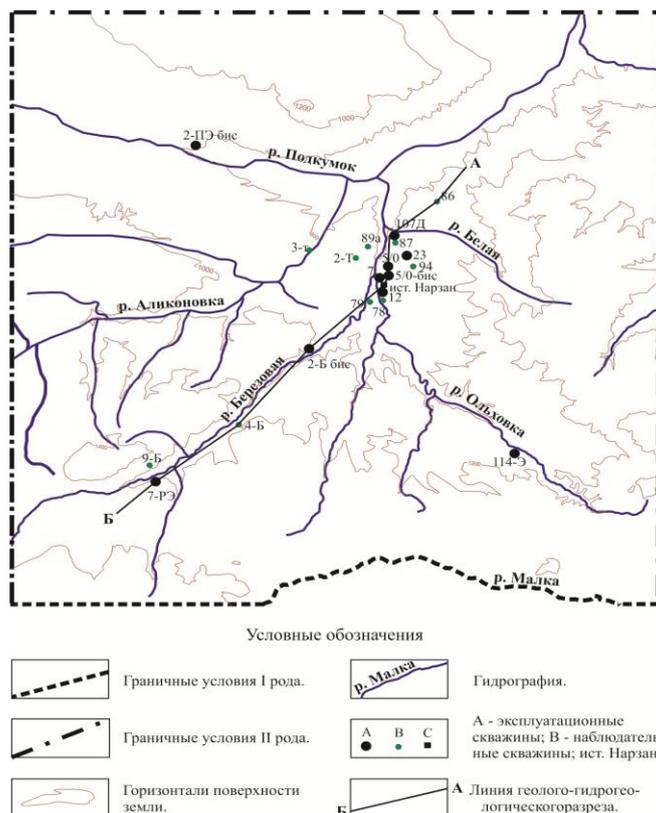


Рис. 2. Схема расположения скважин и граничные условия

Начальные условия сформулированы следующим образом:
 $t = 0, Q = 0, H = H_{ст}$ ($H_{ст}$ – статический уровень).

Фильтрационная область принимается кусочно-однородной. Возможность такого допущения подтверждается геофизическими исследованиями. Предпосылки Гириного-Мятиева – справедливы, закон Дарси – выполняется.

Дискретизация модели по плановым координатам принята в виде равномерной сетки $\Delta x = \Delta y = 100$ м. Общее количество ячеек составляет 250×250 .

Корректировка параметров модели и проверка точности осуществлялась по данным эпигноза за весь период эксплуатации месторождения (с 1950 по 2013 гг.) по фактическим измерениям уровня (наблюдательные скважины) и общей минерализации (эксплуатационные скважины).

Моделирование проводилось с использованием готового пакета программ ModTech, где численное решение проводилось по неявной схеме (метод сопряженных градиентов).

Результаты моделирования и сопоставление с динамических уровней (понижений) в наблюдательных скважинах представлены на рис. 3. Как следует из рисунка, расхождения между модельными и фактическими понижениями уровня в наблюдательных скважинах не превышают 0,5 м. Достаточно точно дана оценка и динамики изменения дебита источника «Нарзан».

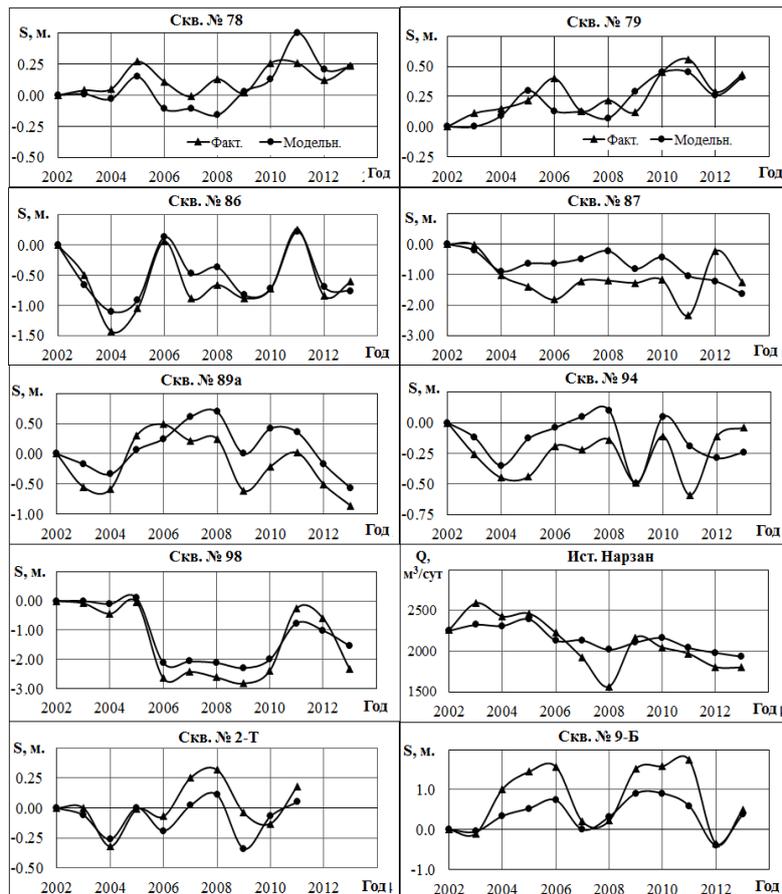


Рис. 3. Сопоставление модельных и фактических понижений уровня по наблюдательным скважинам

Результаты решения задачи геомиграции по эксплуатационным скважинам изображены на рис. 4. Здесь следует дать некоторые разъяснения. Скважины 5/0 и 5/0-бис по данным геофизики имеют нарушения герметичности в обсадных колоннах, что вполне может сказаться на точности прогнозных оценок. Скважина № 107 в 2010 г. была перебурена. Это новая скважина, имеющая несколько иные параметры, чем старая, что также, скорее всего, отразилось на результатах расчета.

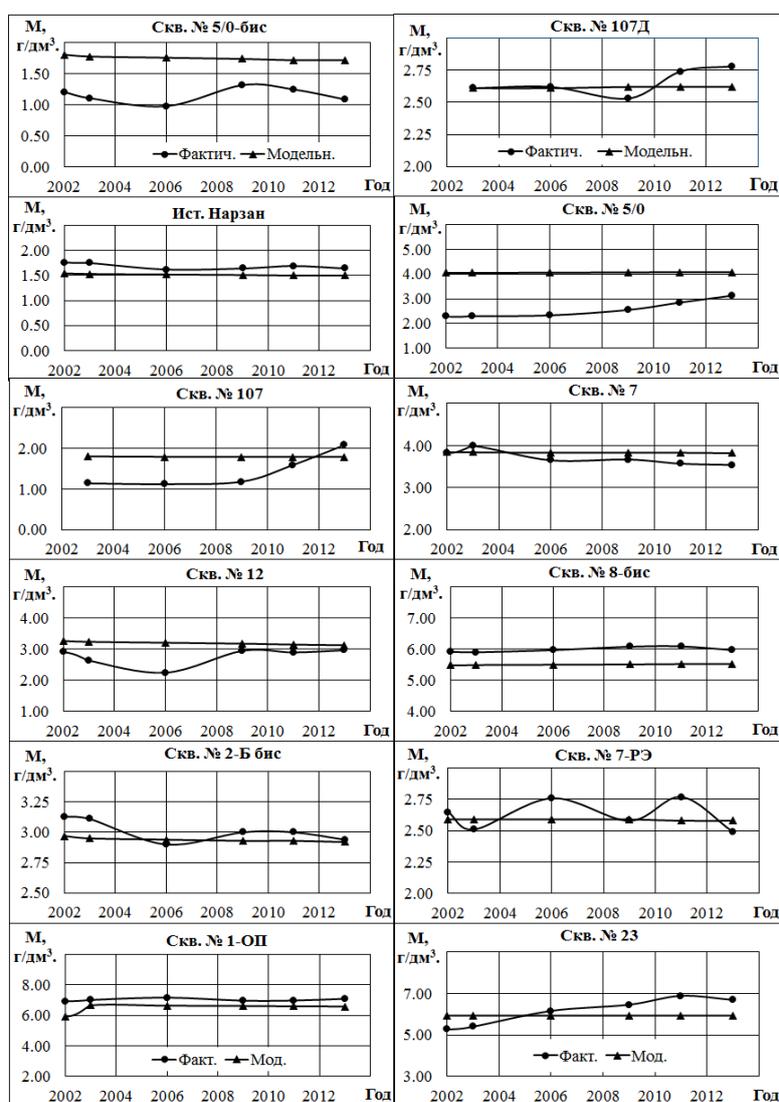


Рис. 4. Результаты сопоставления модельных и фактических значений минерализации в эксплуатационных скважинах

В целом, как следует из расчетов и сопоставления ретроспективных данных, сходимость результатов хорошая, математическая модель достаточно точно описывает процессы геофильтрации и геомиграции.

Ранее уже была построена однопластовая модель описывающая геофильтрацию и геомиграцию загрязненных грунтовых вод Кисловодского месторождения минеральных вод [12]. Выполненное математическое моделирование позволило опреде-

лить, что за 20-ти летний период ореолы распространения поллютантов от АЗС и неканализованных районов увеличатся более чем в 2 раза. Причем в южной части города, где грунтовые воды находятся в гидравлической связи с водоносными горизонтами, может произойти бактериологическое и химическое загрязнение последних.

Выводы и заключение. В работе представлена плоско-пространственная математическая модель Кисловодского месторождения минеральных вод. Определены фильтрационные емкостные параметры водоносных горизонтов, параметры перетекания. Приведены результаты верификации рассматриваемой математической модели. Несмотря на высокую сложность геолого-гидрогеологического строения, модель довольно точно отражает процессы гидрогеодинамики и миграции, что подтверждается анализом ретроспективных данных за 11-летний период (2002–2013 гг.).

Полученная математическая модель имеет не только научное значение (позволяет оценить взаимосвязи различных водоносных горизонтов и их развитие на близкую и отдаленную перспективы), но и важное практическое значение. Используя модель можно организовать оперативную и долгосрочную систему управления гидроминеральной базой месторождения, прогнозировать ситуацию с периодами упреждения до 10–20 лет.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Малков А.В., Першин И.М. Синтез распределенных регуляторов для систем управления гидролитосферными процессами. – М.: Научный мир, 2007. – 364 с.
2. Малков А.В., Першин И.М. Системы с распределенными параметрами. Анализ и синтез. – М.: Научный мир, 2012. – 476 с.
3. Першин И.М., Кузьмин Н.Н., Малков А.В. Формирование целевых функций в задачах управления гидролитосферными процессами // Сборник 5-й Российской мультиконференции по проблемам управления «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2012). – 2012. – С. 622-632.
4. Першин И.М., Малков А.В., Першин М.И. Оперативное и стратегическое управление режимами эксплуатации гидролитосферных объектов // Недропользование XXI век. – 2014. – № 6. – С. 40.
5. Першин И.М., Малков А.В., Дубогрей В.Ф. Методика синтеза распределенных систем управления режимами эксплуатации месторождений минеральных вод // Известия вузов. Геология и разведка. – 2012. – № 2. – С. 76-81.
6. Першин И.М., Малков А.В., Криштал В.А. Построение системы управления параметрами эксплуатации системы добычи минеральной воды в регионе КМВ // Современная наука и инновации. – 2013. – № 1. – С. 17-23.
7. Першин И.М., Веселов Г.Е., Першин М.И. Синтез распределенных систем управления гидролитосферными процессами месторождений минеральных вод // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 8 (157). – С. 123-137.
8. Першин И.М., Малков А.В., Цаплева В.В. Технологическая безопасность эксплуатации гидроминеральных источников // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 4 (129). – С. 25-31.
9. Першин И.М., Помеляйко И.С. Системный анализ экологического состояния зоны гипергенеза курорта Кисловодска // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. – 2013. – № 3 (36). – С. 74-80.
10. Малков А.В., Першин И.М. Синтез распределенных регуляторов для систем управления гидролитосферными процессами // Мир лингвистики и коммуникации: электронный научный журнал. – 2007. – С. 235.
11. Першин М.И. Проектирование системы управления параметрами Кисловодского месторождения минеральных вод // Технологии развития курортно-рекреационного комплекса СКФО. Сборник трудов 2-й ежегодной научно-практической конференции преподавателей, студентов и молодых ученых СКФУ "Университетская наука – региону". Т. 1. – Пятигорск: Изд.-во СКФУ, 2014. – С.143-156.

12. Малков А.В., Зенкина О.Н., Помеляйко В.И., Помеляйко И.С. Математическая модель геофильтрации и миграции загрязненных грунтовых вод на курорте Кисловодск // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 7 (144). – С. 190-194.
13. Papadopoulos I.S. Nonsteady Flow to multiaquifer wells // Journal of Geoph. Research. – 1966. – Vol. 7.1, No. 20. – P. 4791-4797.
14. Khan Irfan A. Determination of aquifer parameters using regression analysis // Water resource Bull. – 1982. – Vol. 18, No. 2. – P. 325-330.
15. William By Porter A. Sensitivity problems in distributive systems // Int. J. Control. – 1976. – Vol. 5. – P. 159-177.
16. Jacob C.E. and Lohmabs S.W. Nonsteady flow to a well of constant drawdown in extensive aquifers // Trans. Am. Geophys. Union. – 1952. – No. 33. – P. 559-569.
17. Hantush M. Hydraulic of wells. Advances in Hydrosience. – New York Acad. Press., 1964. – Vol. I.
18. Martirosyan A.V., Martirosyan K.V. Modeling of information system "Caucasus Mineral Water's hydromineral resources" // 4th International Scientific and Practical Conference "Science and Society". – London: SCIEURO, 2013. – P. 16-24.
19. Kemp J.B. Wright C.E. The assesment of rifer regulation losses // Memoirs JAN. Symp. – 1997. – Vol. III. Part I. – P. 1-19.
20. Martirosyan A.V., Martirosyan K.V., Pershin I.M. Analysis of the Caucasus Mineral Waters' Field's Modeling // Modern Applied Science. – 2015. – Vol. 9, No. 1. ISSN 1913-1844 E-ISSN 1913-1852. Published by Canadian Center of Science and Education. – P. 204-210.

REFERENCES

1. Malkov A.V., Pershin I.M. Sintez raspredelennykh regulyatorov dlya sistem upravleniya gidrolitosfernymi protsessami [The synthesis of distributed controllers for systems management processes hydrolithosphere]. Moscow: Nauchnyy mir, 2007, 364 p.
2. Malkov A.V., Pershin I.M. Sistemy s raspredelennymi parametrami. Analiz i sintez [System with distributed parameters. Analysis and synthesis]. Moscow: Nauchnyy mir, 2012, 476 p.
3. Pershin I.M., Kuz'min N.N., Malkov A.V. Formirovanie tselevykh funktsiy v zadachakh upravleniya gidrolitosfernymi protsessami [The formation of the objective functions in problems of control hydrolithosphere processes], *Sbornik 5-y Rossiyskoy mul'tikonferentsii po problemam upravleniya «Informatsionnye tekhnologii v upravlenii» (ITU-2012)* [A collection of 5-th Russian multiconference on control problems, "Information technologies in management" (ITU-2012)], 2012, pp. 622-632.
4. Pershin I.M., Malkov A.V., Pershin M.I. Operativnoe i strategicheskoe upravlenie rezhimami ekspluatatsii gidrolitosfernykh ob'ektov [Operational and strategic management of the operation hydrolithosphere objects], *Nedropol'zovanie XXI vek* [Nedropolzovanie XXI Vek], 2014, No. 6, pp. 40.
5. Pershin I.M., Malkov A.V., Dubogrey V.F. Metodika sinteza raspredelennykh sistem upravleniya rezhimami ekspluatatsii mestorozhdeniy mineral'nykh vod [The technique of synthesis of distributed control systems modes of operation of deposits of mineral waters], *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka* [Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Geologiya i Razvedka], 2012, No. 2, pp. 76-81.
6. Pershin I.M., Malkov A.V., Krishtal V.A. Postroenie sistemy upravleniya parametrami ekspluatatsii sistemy dobychi mineral'noy vody v regione KMV [Building control system the operating parameters of the mining system mineral water in the region of CMW], *Sovremennaya nauka i innovatsii* [Modern Science and Innovation], 2013, No. 1, pp. 17-23.
7. Pershin I.M., Veselov G.E., Pershin M.I. Sintez raspredelennykh sistem upravleniya gidrolitosfernymi protsessami mestorozhdeniy mineral'nykh vod [Synthesis of distributed control systems gidrolitosfernymi processes mineral waters], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2014, No. 8 (157), pp. 123-137.
8. Pershin I.M., Malkov A.V., Tsapleva V.V. Tekhnologicheskaya bezopasnost' ekspluatatsii gidromineral'nykh istochnikov [Process safety manual sources hydromineral], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 4 (129), pp. 25-31.
9. Pershin I.M., Pomelyayko I.S. Sistemnyy analiz ekologicheskogo sostoyaniya zony gipergeneza kurorta Kislovodsk [System analysis of the ecological state of the hypergenesis zone of the resort of Kislovodsk], *Vestnik Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta* [Herald of North-Caucasus Federal University], 2013, No. 3 (36), pp. 74-80.

10. *Malkov A.V., Pershin I.M.* Sintez raspredelennykh regulyatorov dlya sistem upravleniya gidrolitosfernymi protsessami [The synthesis of distributed controllers for systems management hydrolithosphere processes], *Mir lingvistiki i kommunikatsii: elektronnyy nauchnyy zhurnal* [World of linguistics and communication: electronic scientific journal], 2007, pp. 235.
11. *Pershin M.I.* Proektirovanie sistemy upravleniya parametrami Kislovodskogo mestorozhdeniya mineral'nykh vod [The design of the control system parameters Kislovodsk mineral water deposits], *Tekhnologii razvitiya kurortno-rekreatsionnogo kompleksa SKFO. Sbornik trudov 2-y ezhegodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii prepodavateley, studentov i molodykh uchenykh SKFU "Universitetskaya nauka – regionu"* [Technology for the development of resort-recreational complex of the North Caucasus Federal district. Proceedings of the 2nd annual scientific-practical conference of teachers, students and young scientists of NCFU "University science – the region"]. Vol. 1. Pyatigorsk: Izd.-vo SKFU, 2014, pp. 143-156.
12. *Malkov A.V., Zenkina O.N., Pomelyayko V.I., Pomelyayko I.S.* Matematicheskaya model' geofil'tratsii i migratsii zagryaznennykh gruntovykh vod na kurorte Kislovodsk [Mathematical model migration and geofl polluted groundwater health resort Kislovodsk], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, No. 7 (144), pp. 190-194.
13. *Papadopoulos I.S.* Nonsteady Flow to multiaquifer wells, *Journal of Geoph. Pesearch*, 1966, Vol. 7.1, No. 20, pp. 4791-4797.
14. *Khan Irfan A.* Determination of aquifer parameters using regression analysis, *Water resource Bull*, 1982, Vol. 18, No. 2, pp. 325-330.
15. *William By Porter A.* Sensitivity problems in distributive systems, *Int. J. Control*, 1976, Vol. 5, pp. 159-177.
16. *Jacob C.E. and Lohmabs S.W.* Nonsteady flow to awell of constant drawdown in extensive aguifers, *Trans. Am. Geophys. Union*, 1952, No. 33, pp. 559-569.
17. *Haniush M.* Hydraulic of wells. Advances in Hydrosience. New York Acad. Press., 1964, Vol. I.
18. *Martirosyan A.V., Martirosyan K.V.* Modeling of information system "Caucasus Mineral Water's hydromineral resources", *4th International Scientific and Practical Conference "Science and Society"*. London: SCIEURO, 2013, pp. 16-24.
19. *Kemp J.B. Wright C.E.* The assesment of rifer regulation losses, *Memoirs JAN. Symp.*, 1997, Vol. III. Part I, pp. 1-19.
20. *Martirosyan A.V., Martirosyan K.V., Pershin I.M.* Analysis of the Caucasus Mineral Waters' Field's Modeling, *Modern Applied Science*, 2015, Vol. 9, No. 1, pp. 204-210. ISSN 1913-1844 E-ISSN 1913-1852. Published by Canadian Center of Science and Education.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.Б. Чернышев.

Першин Иван Митрофанович – Северо-Кавказский федеральный университет, филиал в г. Пятигорске; e-mail: ivmp@yandex.ru; 357500, г. Пятигорск, просп. 40 лет октября, 56; тел.: 88793973927; кафедра управления в технический и биомедицинских системах; зав. кафедрой; профессор.

Малков Анатолий Валентинович – ООО «Нарзан-гидроресурсы»; e-mail: Anatol.Malkov@yandex.ru; 357700, г. Кисловодск, ул. Кирова, 43; тел. +78793729139; к.г.-м.н.; д.т.н.; директор.

Помеляйко Ирина Сергеевна – e-mail: i.pomelyayko@yandex.ru; к.т.н.; ведущий инженер-гидрогеолог.

Pershin Ivan Mitrofanovich – North-Caucasian Federal University, a branch in the town of Pyatigorsk; e-mail: ivmp@yandex.ru; 357500, Pyatigorsk, ave. 40 years on October 56; phone: +78793973927; the department of management of technical and biomedical systems; head of department; professor.

Malkov Anatoly Valentinovitch – LLC "Narzan-hydro"; e-mail: Anatol.Malkov@yandex.ru; 43, Kirov street, Kislovodsk, Russia; phone: +78793729139; director; cand; of geolog.-mineralog. sc; dr. of eng. sc.; professor.

Pomelyayko Irina Sergeevna – e-mail: i.pomelyayko@yandex.ru; leading engineering and hydrogeology, cand. of eng. sc.