

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 556.3

СРАВНЕНИЕ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД ЭССЕНТУКСКОГО И НАГУТСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ

© 2018 г. Б.И. Королев*, А.Б. Лисенков**

* Федеральное государственное бюджетное учреждение “Гидроспецгеология”,
ул. Маршала Рыбалко, д. 4, г. Москва, 123060 Россия. E-mail: korolyev@mail.ru

**Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ),
ул. Миклухо-Маклая, д. 23, Москва, 117997 Россия.
E-mail lisenkov.rsgpu@mail.ru

Поступила в редакцию 02.06.2017 г.
После исправления 30.08.2017 г.

В работе приводится сравнение природных условий формирования минеральных подземных вод хлоридно-гидрокарбонатного состава с минерализацией 7–14 г/дм³ Эссентукского и Нагутского месторождений. Сравнение выполнено на основе информационного анализа, позволяющего выделить информативные признаки, характеризующие геологическую среду в границах изучаемых объектов и оказывающие наибольшее влияние на выходные показатели Y_i . В качестве выходных показателей Y_i использованы признаки, характеризующие развитие минеральных вод хлоридно-гидрокарбонатного состава с минерализацией 7–14 г/дм³ и содержание свободной углекислоты в подземных водах целевых гидрогеологических подразделений на Эссентукском и Нагутском месторождениях. По результатам исследований установлены сходства и различия формирования минеральных вод на Эссентукском и Нагутском месторождениях, выделены вероятные участки поступления углекислоты в целевые гидрогеологические подразделения. Сделано предположение о низких темпах восполнения запасов кондиционных эссентукских минеральных подземных вод в верхнемеловом водоносном горизонте, отстающих от темпов разработки данного горизонта.

Ключевые слова: минеральные подземные воды, Эссентукское месторождение, Нагутское месторождение, условия формирования, информативность, информационная модель, информационный анализ.

DOI: 10.7868/S0869780318020035

Основная цель проведения исследований – оценка и сравнение на основе информационного анализа природных условий формирования наиболее ценных минеральных подземных вод Эссентукского и Нагутского месторождений – вод хлоридно-гидрокарбонатного состава, которые по анионному составу и величине минерализации соответствуют гидрохимическим типам (по ГОСТ Р 54316-2011): “Эссентукский № 4” и “Эссентукский № 17”.

Для реализации поставленной цели последовательно решены задачи.

1. Адаптация алгоритма информационного анализа для целей оценки и сравнения условий формирования минеральных подземных вод.

2. Составление перечня признаков x_i , оказывающих влияние на формирование и изменение значений показателей качества минеральных вод (выходные показатели Y_i).

3. Составление информационных моделей Эссентукского и Нагутского месторождений с проведением расчетов взаимной информативности, по результатам которых выделены информативные простые признаки x_i , оказывающие наибольшее влияние на формирование выходных показателей Y_i .

4. Интерпретация матриц взаимной информативности и определение основных особенностей формирования минеральных подземных вод хлоридно-гидрокарбонатного состава на тер-

ритории Ессентукского и Нагутского месторождений.

5. Сравнение полученных результатов информационных расчетов с выделением сходств и различий в условиях формирования минеральных подземных вод Ессентукского и Нагутского месторождений.

В качестве исходных данных о фактических значениях показателей x_i и Y_i использованы материалы государственного регионального геологического изучения недр, проведенного в границах особо охраняемого эколого-курортного региона Кавказские Минеральные Воды в разные годы, и открытые данные радарной съемки SRTM [4].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Методика составления пространственных информационных моделей для решения диагностических эколого-гидрогеологических задач разработана профессором А.Б. Лисенковым [1] и базируется на математическом аппарате алгебраической теории информации [2] применительно к задаче распознавания образов [6]. В последние годы в геолого-гидрогеологических исследованиях информационный анализ применялся при изучении родников г. Москвы [11] и условий формирования минеральных вод Северного Кавказа [7], для оценки качества и загрязнения подземных вод [5, 8].

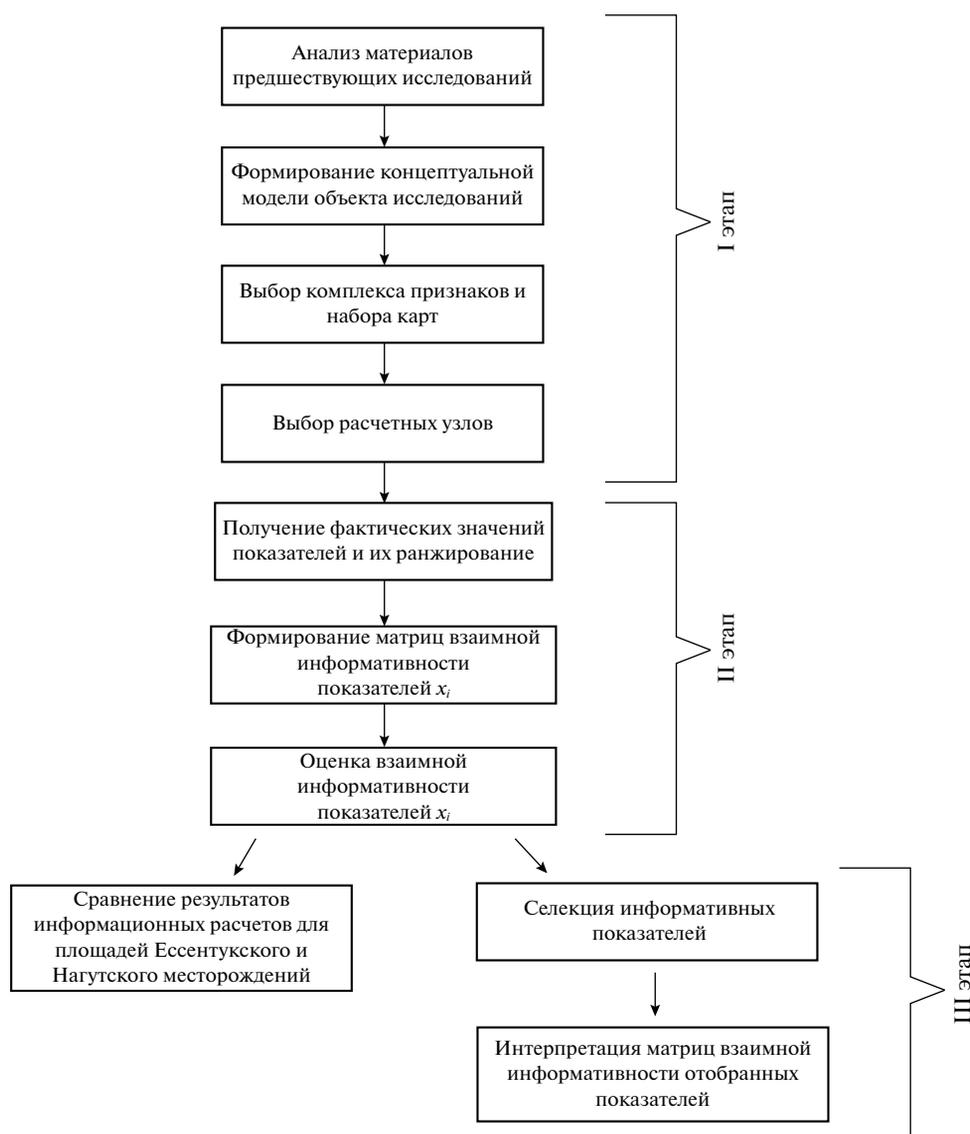


Рис. 1. Алгоритм модифицированного информационного анализа, использованный для оценки и сравнения условий формирования минеральных подземных вод Ессентукского и Нагутского месторождений.

В рамках настоящих исследований методика информационного анализа модифицирована (рис. 1). Оценка и сравнение условий формирования минеральных подземных вод на основе информационного анализа осуществляется в 3 этапа.

На первом этапе происходит создание исходной модели, что включает в себя формирование концептуальной модели объекта исследований, перечня исходных показателей x_i и набора карт, расчетных узлов системы.

Создание концептуальной модели основывается на изучении материалов предшествующих исследований. На этом этапе эксперт определяется с основными условиями формирования минеральных вод, анализ которых позволяет выделить группы и составить перечень показателей, которые описывают концептуальные модели объектов исследований. Согласно выбранному перечню показателей определяется набор картографических материалов – источников фактических значений признаков x_i .

На втором этапе происходит формирование информационной модели. Этап начинается с получения фактических значений показателей x_i и их ранжирования. Ранжирование качественных признаков x_i осуществляется путем присвоения номера класса соответствующему уникальному качественному значению показателя. Для количественных признаков x_i ранжирование осуществляется на основе алгоритма естественных границ Дженкса (JenksNaturalBreaksalgorithm), основанного на естественном группировании данных [12]. Границы классов определяются таким образом, чтобы сгруппировать схожие значения и максимально увеличить различия между

классами. Это достигается путем минимизации стандартного отклонения членов класса от его среднего значения, при этом отклонение между различными классами максимально увеличивается.

Затем на основе матриц взаимной информативности (таблица) проводится информационная оценка показателей x_i по отношению к выходным показателям Y_i по формуле:

$$I(Y : x_i) = I(Y) - I(Y / x_i),$$

где $I(Y : x_i)$ – взаимная информативность признаков Y и x_i ; $I(Y)$ – полная информация о выходном признаке Y ; $I(Y / x_i)$ – относительная информативность признаков Y и x_i .

На заключительном этапе исследований проводится интерпретация матриц взаимной информативности и общий анализ информационных расчетов с определением основных особенностей, сходств и различий условий формирования минеральных подземных вод.

Интерпретация матриц взаимной информативности осуществляется в следующей последовательности. В начале эксперт описывает все варианты взаимных переходов номера интервала ранжирования показателя $x_i(k)$ в соответствующий номер интервала показателя $Y(n)$ внутри матрицы, выделяя основные зависимости их распределения. Базируясь на проведенном анализе, с учетом особенностей геолого-гидрогеологического и тектонического строения региона эксперт проводит интерпретацию результатов с выделением и уточнением основных условий формирования минеральных подземных вод.

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

По результатам изучения материалов предшествующих исследований [3, 9, 10] выделены основные механизмы формирования минеральных подземных вод в пределах объектов исследования, которые сводятся к следующему.

1. Из глубоких частей фундамента к его кровле поступает водно-углекислый флюид метаморфического происхождения.

2. Основные пути движения флюида – зоны тектонического растяжения северо-восточного и субмеридионального простирания. Инъекция флюида в осадочный чехол происходит в основном там, где вышеупомянутые тектонические

Матрица взаимной информативности

x_i/Y	1	2	...	n
1	m_0^0	m_0^1	...	m_0^n
2	m_1^0	m_1^1	...	m_1^n
...
k	m_k^0	m_k^1	...	m_k^n

m_k^n – число переходов номера интервала ранжирования показателя $x_i(k)$ в соответствующий номер интервала ранжирования показателя $Y(n)$, по вертикали и горизонтали – номера интервалов ранжирования показателей $x_i(k)$ и $Y(n)$, соответственно.

зоны пересекаются с субширотными зонами сжатия.

4. Выделяются три источника формирования ресурсов подземных вод: инфильтрационные и седиментационные воды, а также приток из фундамента.

5. Изменение качественного состава подземных вод происходит за счет смешения инфильтрационных и седиментационных соленых вод, а также физико-химических реакций в системе “вода – газ – порода”.

Решение задачи

Для решения поставленных задач изучаемые территории покрыли модельной сеткой (рис. 2, 3). Шаг модельной сетки – 1 км.

Основываясь на концептуальной модели, были выделены следующие группы показателей x_i , характеризующих состояние геологической среды в пределах Эссентукского и Нагутского месторождений минеральных подземных вод.

Группа “тектонических показателей”. В группу включены показатели, характеризующие наличие участков возможного поступления углекислоты из пород кристаллического фундамента в отложения осадочного чехла, а также участков субвертикального взаимодействия между гидрогеологическими подразделениями. Это “крупные” разломы в отложениях фундамента, разломы в отложениях осадочного чехла, плотность разрывных нарушений различного простирания, тектонические структуры фундамента, зоны концентрации деформаций различного геолого-кинематического типа.

Группа “геологических показателей”. В качестве геологических показателей, характеризующих объекты исследования, выбраны те, которые, по мнению авторов, отражают влияние геологического строения изучаемых территорий на формирование химического и газового состава минеральных подземных вод. Это условия залегания разновозрастных образований и их мощности.

Группа “гидрогеологических показателей”. В группу вошли показатели, с помощью которых, с одной стороны, можно оценить характер движения подземных вод в пределах изучаемой территории, а, с другой – гидрогеохимическую и газовую обстановку в гидрогеологических подразделениях, развитых в пределах Эссентукского и Нагутского месторождений минеральных подземных вод. Это наличие водопроводящих разломов, удаленность от основных областей питания, характеристика положений уровенной

поверхности гидрогеологических подразделений и глубин до нее, фильтрационные свойства, химический состав подземных вод, газов и специфических компонентов и др.

В качестве выходных показателей Y_i использованы признаки, характеризующие развитие минеральных вод хлоридно-гидрокарбонатного состава с минерализацией 7–10 г/дм³ и 10–14 г/дм³, а также признаки, характеризующие содержание свободной углекислоты в подземных водах целевых гидрогеологических подразделений на Эссентукском и Нагутском месторождениях.

Были составлены матрицы взаимной информативности и проведены информационные расчеты.

По результатам информационных расчетов по Эссентукской модели установлено, что наибольшее влияние на формирование признака “воды хлоридно-гидрокарбонатного состава (эльбурганский водоносный горизонт)” оказывают:

1) группа геологических показателей, в том числе: показатели, характеризующие положение кровли гидрогеологических подразделений, развитых в границах Эссентукского месторождения; показатель, характеризующий мощность целевого эльбурганского водоносного горизонта;

2) группа гидрогеологических показателей, в том числе: показатели, характеризующие удаленность от области питания целевого водоносного горизонта, положение уровня его подземных вод, а также его фильтрационные свойства; показатели, характеризующие химический состав (анионы) подземных вод, состав специфических компонентов и концентрацию углекислоты в подземных водах смежных гидрогеологических подразделений, а также показатели, характеризующие геотермические условия.

По результатам информационных расчетов по Нагутской модели установлено, что наибольшее влияние на формирование признака “воды хлоридно-гидрокарбонатного состава с минерализацией 7–14 г/дм³ (апт-нижнеальбский водоносный горизонт)” оказывают:

1) показатель, характеризующий наличие разрывных нарушений в фундаменте;

2) группа геологических показателей, в том числе: показатели, характеризующие положение кровли гидрогеологических подразделений, развитых в границах Нагутского месторождения; показатель, характеризующий эффективную мощность целевого апт-нижнеальбского водоносного горизонта;

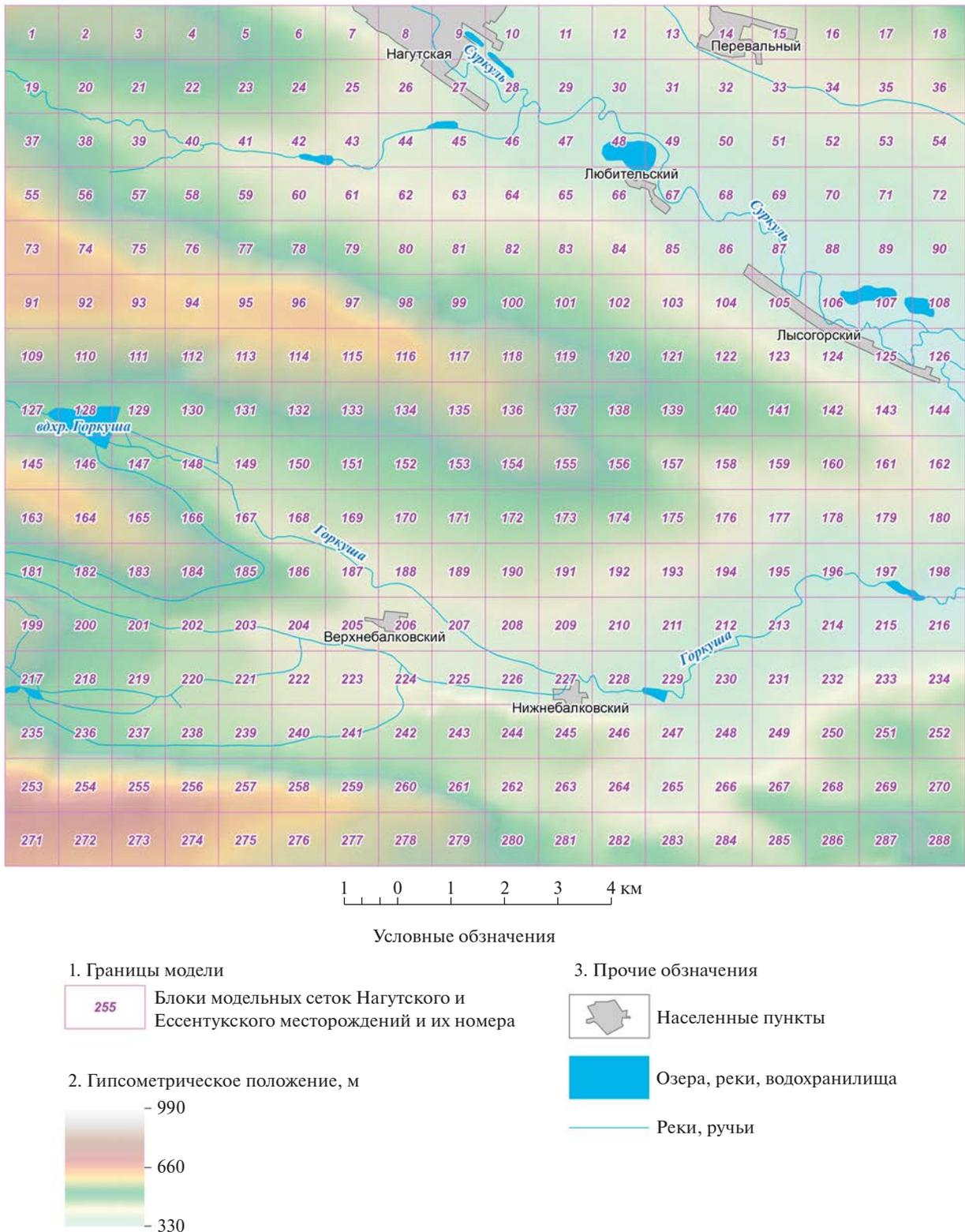
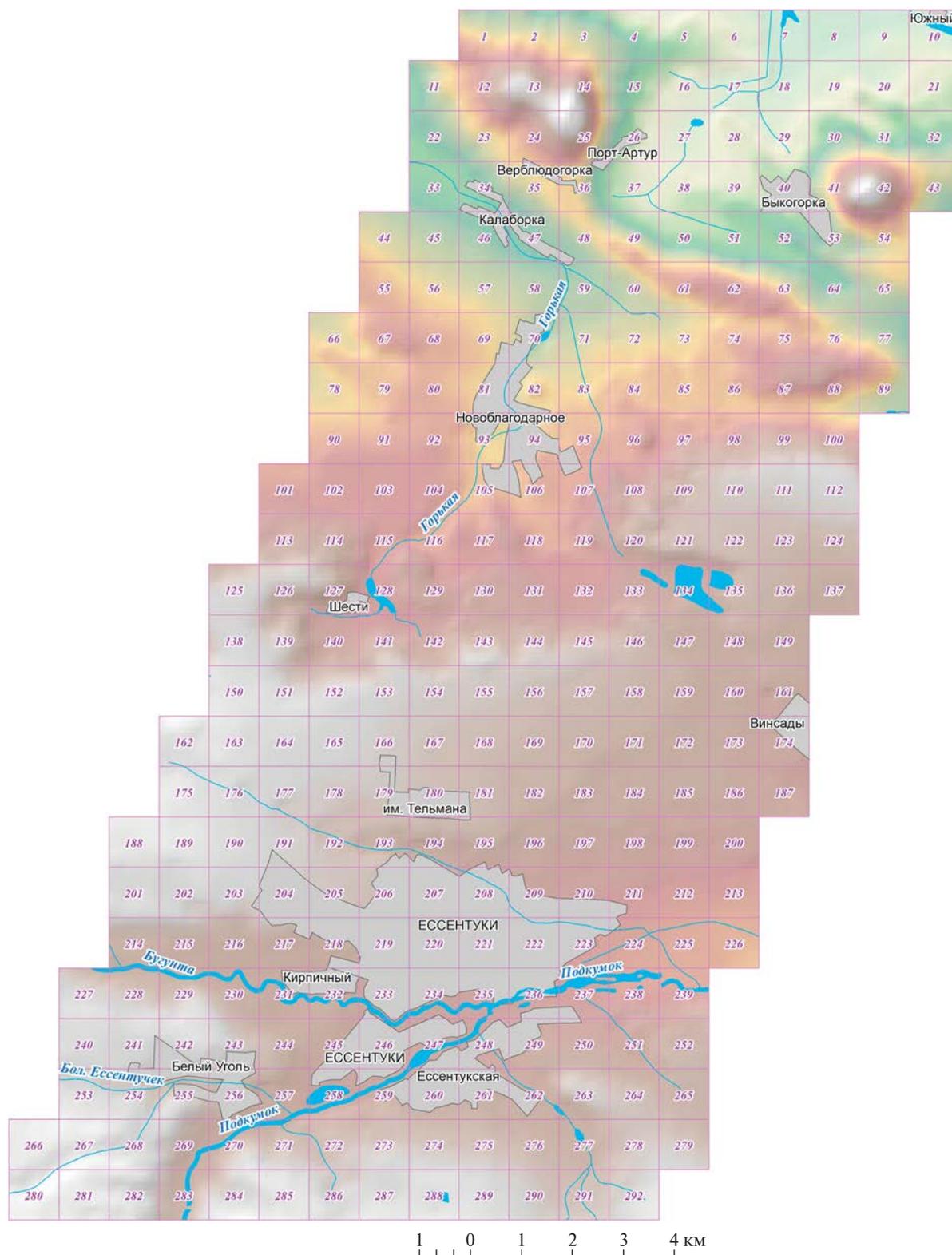


Рис. 2. Схема модели Нагутского месторождения.

3) группа гидрогеологических показателей, в том числе: показатели, характеризующие удаленность от областей питания гидрогеологических

подразделений и их фильтрационные свойства; показатели, характеризующие химический состав (анионы) подземных вод, состав специфических



* условные обозначения приведены на рисунке 2

Рис. 3. Схема модели Ессентукского месторождения.

компонентов и газов (растворенных и спонтанных) смежных гидрогеологических подразделений, а также показатели, характеризующие геотермические условия.

Обращает на себя внимание низкая информативность простых признаков по отношению к выходным показателям, характеризующим области развития минеральных подземных вод хлоридно-гидрокарбонатного состава с минерализацией 7–14 г/дм³ в верхнемеловом водоносном горизонте, как по Эссентукской, так и по Нагутской моделям. По-видимому, такая ситуация связана с тем, что составленные информационные пространственные модели учитывают лишь природные условия формирования минеральных подземных вод в пределах месторождений. Вероятно, что в настоящее время на формирование гидрогеохимической обстановки в верхнемеловом водоносном горизонте оказывает значительное влияние добыча минеральных подземных вод, которая при составлении информационных пространственных моделей не могла быть учтена. Можно предположить, что указанное выше свидетельствует о низких темпах восполнения запасов кондиционных минеральных подземных вод эссентукских типов в верхнемеловом водоносном горизонте, отстающих от темпов эксплуатации верхнемелового водоносного горизонта.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ МАТРИЦ ВЗАИМНОЙ ИНФОРМАТИВНОСТИ

По результатам интерпретации матриц взаимной информативности установлены основные природные особенности формирования минеральных подземных вод хлоридно-гидрокарбонатного состава с минерализацией 7–10 г/дм³ и 10–14 г/дм³ на Эссентукском и Нагутском месторождениях.

Эссентукское месторождение минеральных подземных вод

Анализ матриц взаимной информативности показал, что по мере погружения гидрогеологических подразделений в северо-восточном направлении в эльбурганском водоносном горизонте происходит смешение инфильтрационных вод с водами хлоридного состава. При этом процесс смешения инфильтрационных вод и вод хлоридного состава начинается вблизи от областей питания эльбурганского водоносного горизонта (на ограниченных участках) и продолжается с погружением водовмещающих пород в северо-восточном направлении. Рост минерализации

подземных вод за счет насыщения гидрокарбонат-ионом обусловлен процессом углекислотного выщелачивания водовмещающих карбонатных пород.

Отмечена связь эльбурганского и титон-валанжинского водоносных горизонтов. Вероятно, что в самом титон-валанжинском водоносном горизонте происходит процесс углекислотного выщелачивания водовмещающих пород, сопровождающийся обогащением вод гидрокарбонат-ионом. Учитывая положение пьезометрических поверхностей указанных гидрогеологических подразделений, авторы делают вывод о поступлении из титон-валанжинского водоносного горизонта вод сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатного состава в вышележащие гидрогеологические подразделения и в верхнемеловой и эльбурганский водоносные горизонты. При этом сульфат-ион на этих участках в водах верхнего мела и эльбургана не отмечен, что может быть объяснено наличием процессов биогенной сульфат-редукции.

Подземные воды хлоридно-гидрокарбонатного состава с минерализацией 10–14 г/дм³ приурочены к участкам эльбурганского водоносного горизонта с относительно высокой водопроницаемостью горных пород, что создает более благоприятные условия для накопления углекислоты и, как следствие, увеличения времени и площади ее контакта с водовмещающими породами. Таким образом, на указанных участках процесс углекислотного выщелачивания более “масштабный”, что приводит к формированию вод хлоридно-гидрокарбонатного состава с минерализацией более 10 г/дм³.

Вероятно, что в областях питания процесс углекислотного выщелачивания водовмещающих пород не так активен, и сказывается влияние инфильтрационных вод, что в совокупности ограничивает рост минерализации. На этих участках отмечаются воды только хлоридно-гидрокарбонатного состава с минерализацией 7–10 г/дм³. В наиболее погруженных участках, где эльбурганский водоносный горизонт в границах Эссентукского месторождения имеет максимальную мощность (северо-восточнее г. Бык), процессы углекислотного выщелачивания водовмещающих пород в самом горизонте не протекают, что, вероятно, связано с отсутствием участков поступления углекислоты.

Проведенный анализ матриц взаимной информативности позволяет сделать вывод, что в границах Эссентукского месторождения имеются 2 разобщенных участка поступления и накопления

углекислоты в эльбурганском водоносном горизонте, обуславливающих формирование вод эссентукских типов: 1) участок (или группа компактно расположенных участков), территориально расположенный между ст. Эссентукской и с. Новоблагодарное; 2) участок, приуроченный к интрузивному образованию г. Бык (с. Быкогорка).

Следует отдельно отметить участки, на которых водам хлоридно-гидрокарбонатного состава с минерализацией 7–14 г/дм³ эльбурганского водоносного горизонта соответствуют воды титон-валанжинского водоносного горизонта хлоридного состава. Территориально эти участки располагаются у северной границы Эссентукского месторождения в районе интрузивного образования г. Бык. Вероятно, что на этих участках условия для накопления углекислоты в титон-валанжинском горизонте отсутствуют, и углекислотного выщелачивания не происходит. Либо в титон-валанжинский водоносный горизонт углекислота вовсе не поступает, а разгружается в вышележащие гидрогеологические подразделения.

Отмечается, что воды хлоридно-гидрокарбонатного состава с минерализацией 7–14 г/дм³ в эльбурганском водоносном горизонте отсутствуют на участках, где температуры по кровле верхнемелового водоносного горизонта минимальны (9–16 °С), что свидетельствует о влиянии на этих участках “холодных” инфильтрационных вод с низкой минерализацией. Также эти воды отсутствуют на участках, где температуры по кровле верхнемелового водоносного горизонта в границах Эссентукского месторождения максимальны (34–40 °С), что может говорить об отсутствии на этих участках источников поступления углекислоты.

Отмечена высокая информационная связь химического состава специфических компонентов в водах верхнемелового водоносного горизонта с участками развития вод хлоридно-гидрокарбонатного состава с минерализацией 7–14 г/дм³ в эльбурганском водоносном горизонте, что свидетельствует о тесной связи подземных вод эльбургана и верхнего мела. Представляется, что указанные компоненты (за исключением сероводорода) в подземных водах верхнемелового водоносного горизонта связаны с процессом выщелачивания водовмещающих пород. Сероводород, вероятно, формируется в результате биогенной сульфат-редукции.

Нагутское месторождение минеральных подземных вод

Проведенный анализ показал, что участками поступления углекислоты в осадочный чехол

в районе Нагутского месторождения являются разрывные нарушения в фундаменте, сконцентрированные на ограниченной площади. Именно к этим участкам приурочены воды хлоридно-гидрокарбонатного состава апт-нижнеальбского водоносного горизонта, для которых характерно относительно высокое содержание гидрокарбонат-иона. По всей видимости, воды хлоридно-гидрокарбонатного состава с минерализацией 7–10 г/дм³ в апт-нижнеальбском водоносном горизонте формируются на участках “растекания” углекислоты, поступающей из фундамента. Вероятно, что участки поступления углекислоты в отложения осадочного чехла приурочены к участкам залегания фундамента в интервале абсолютных отметок от –2260 до –1970 м.

Анализ матриц взаимной информативности показал, что по мере погружения гидрогеологических подразделений в северо-восточном направлении в апт-нижнеальбском водоносном горизонте происходит смешение инфильтрационных вод с низкой минерализацией с водами, обогащенными гидрокарбонат-ионом и хлорид-ионом, что сопровождается общим резким ростом минерализации вод. Следует отметить роль гидрогеологических условий апт-нижнеальбского водоносного горизонта, обусловленных литологическим составом и фильтрационными параметрами водовмещающих отложений, обеспечивающими движение инфильтрационных вод из областей питания до площади Нагутского месторождения без существенного роста минерализации.

Подземные воды хлоридно-гидрокарбонатного состава с минерализацией 7–14 г/дм³ в пределах Нагутского месторождения приурочены к участкам апт-нижнеальбского водоносного горизонта с относительно высокой водопроницаемостью горных пород, что создает более благоприятные условия для накопления углекислоты и, как следствие, увеличения времени и площади ее контакта с водовмещающими породами. Таким образом, на указанных участках процесс углекислотного выщелачивания более “масштабный”, что приводит к формированию вод хлоридно-гидрокарбонатного состава с минерализацией более 7 г/дм³.

Вероятно, что большая эффективная мощность апт-нижнеальбского водоносного горизонта определяет более благоприятные условия для накопления в нем углекислоты, поступающей из “резервуаров” титон-валанжинского водоносного горизонта, и повышает площадь контакта в системе “вода – газ – порода”. Возможно, что “резервуары” в апт-нижнеальбском

и титон-валанжинском водоносных горизонтах объединены.

Из анализа матриц следует, что существует тесная связь между апт-нижнеальбским и эльбурганским водоносными горизонтами. Об этом свидетельствуют инъекции флюида с глубин, отмечающиеся в указанных гидрогеологических подразделениях и выражающиеся в эльбурганском водоносном горизонте в формировании на пьезометрической поверхности куполообразных структур, в апт-нижнеальбском – в формировании вод хлоридно-гидрокарбонатного состава с относительно высокой минерализацией ($> 7 \text{ г/дм}^3$).

Также существует связь апт-нижнеальбского и верхнемелового водоносных горизонтов. Очевидно, что на участках поступления углекислоты с глубин в указанных водоносных горизонтах происходит процесс углекислотного выщелачивания водовмещающих карбонатных пород, что приводит к образованию хлоридно-гидрокарбонатных вод с минерализацией в апт-нижнеальбском водоносном горизонте – $7\text{--}14 \text{ г/дм}^3$, в верхнемеловом – $18\text{--}27 \text{ г/дм}^3$. Такое расхождение в минерализации подземных вод, рассматриваемых водоносных горизонтов, связано с литологическим составом и фильтрационными свойствами водовмещающих пород.

Отмечена связь участков развития в апт-нижнеальбском водоносном горизонте вод хлоридно-гидрокарбонатного состава с минерализацией $7\text{--}14 \text{ г/дм}^3$ с геотемпературными условиями, обусловленная следующими обстоятельствами. Во-первых, моноклиналильным залеганием отложений осадочного чехла с погружением в северо-восточном направлении и ростом пластовых температур; во-вторых – процессами миграции углекислоты, сопровождающиеся эндотермическими эффектами при изменении ее фазовых состояний. Как следует из анализа матриц, эндотермические эффекты наблюдаются только в эльбурганском и верхнемеловом водоносных горизонтах, что может говорить о том, что процесс фазовых переходов углекислоты в этих гидрогеологических подразделениях идет достаточно бурно.

На участках апт-нижнеальбского водоносного горизонта, где развиты подземные воды хлоридно-гидрокарбонатного состава с минерализацией $7\text{--}10 \text{ г/дм}^3$, из специфических компонентов отмечена только метакремниевая кислота, а на участках аптско-нижнеальбского водоносного горизонта, где развиты подземные воды с минерализацией $10\text{--}14 \text{ г/дм}^3$, – метакремниевая и ортоборная кислоты.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И СРАВНЕНИЕ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ЭССЕНТУКСКОГО И НАГУТСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Сравнительный анализ результатов информационных расчетов показывает некоторую схожесть условий формирования минеральных подземных вод хлоридно-гидрокарбонатного состава в границах Эссентукского и Нагутского месторождений. Но при этом выделен ряд отличий, которые приводятся ниже.

1. По результатам интерпретации матриц информативности установлены участки поступления углекислоты в осадочный чехол в районе Нагутского месторождения – разрывные нарушения в фундаменте в северной части месторождения, сконцентрированные на ограниченной площади. В границах Эссентукского месторождения участки поступления углекислоты в осадочный чехол не установлены. При этом в границах Эссентукской модели выделяется 2 разобщенных участка поступления и накопления углекислоты в эльбурганском водоносном горизонте, обуславливающих формирование вод эссентукских типов: 1) участок (или группа компактно расположенных участков), территориально расположенный между ст. Эссентукской и с. Новоблагодарное; 2) участок, приуроченный к интрузивному образованию г. Бык (с. Быкогорка).

Возможно, участки поступления углекислоты в осадочный чехол находятся за границами Эссентукского месторождения, либо в целевых гидрогеологических подразделениях имеются дополнительные источники углекислоты, “оторванные” от фундамента. В качестве таких источников может выступать микробиота, продуцирующая углекислоту.

2. В границах Нагутского месторождения отмечено высокое влияние гидрогеологических условий апт-нижнеальбского водоносного горизонта на формирование вод хлоридно-гидрокарбонатного состава с минерализацией до 14 г/дм^3 , обусловленных литологическим составом и фильтрационными параметрами водовмещающих отложений, обеспечивающими движение инфильтrogenных вод из областей питания без существенного роста минерализации.

В границах Эссентукского месторождения гидрогеологические условия апт-нижнеальбского водоносного горизонта влияния на формирование минеральных вод не оказывают.

3. Имеются значимые отличия в геотермических условиях Эссентукского и Нагутского месторождений. В границах Нагутского месторождения температура по кровле водоносных горизонтов значительно выше, чем на Эссентукском. Очевидно, что физико-химические процессы в системе “вода – газ – порода” в пределах Нагутского месторождения идут значительно интенсивнее, чем на Эссентукском.

4. В границах Эссентукского месторождения в подземных водах эльбурганского водоносного горизонта отсутствует метакремниевая кислота. При этом во всех других рассмотренных продуктивных гидрогеологических подразделениях сравниваемых месторождений метакремниевая кислота отмечается. Вероятно, отсутствие кремнезема в подземных водах эльбурганского водоносного горизонта связано с близким расположением областей питания и влиянием “холодных” инфильтрогенных вод, что определяет соответствующие температурные условия взаимодействия в системе “вода – порода”.

5. В пределах Эссентукского месторождения на участках развития в верхнемеловом водоносном горизонте вод хлоридно-гидрокарбонатного состава с минерализацией 7–14 г/дм³ отмечаются участки, где в подземных водах, помимо прочих специфических компонентов, присутствует железо. При этом на Нагутском месторождении на аналогичных участках железо не встречается. Вероятно, что на Эссентукском месторождении вблизи от области питания водоносных горизонтов имеются участки с локальными гидрогеохимическими особенностями и наличием условий, способствующих переходу железа в раствор: повышенная концентрация органических веществ и слабовосстановительная среда.

6. Воды типов “Эссентукский № 4” и “Эссентукский № 17”, приуроченные к Эссентукскому месторождению, по ГОСТ Р 54316-2011 относятся к группе минеральных вод ХХVa “Хлоридно-гидрокарбонатная (гидрокарбонатно-хлоридная) натриевая, борная”. Одна из отличительных особенностей вод этих типов – низкое содержание SO₄ – менее 25 мг/дм³.

Следует отметить, что для вод “Нагутская-17”, приуроченных к Нагутскому месторождению, в Приложении Б ГОСТ Р 54316–2011 выделена отдельная строка, и требования к химическому составу воды несколько отличаются от требований к водам эссентукских типов. В частности, верхний предел по содержанию сульфат-иона составляет 150 мг/дм³, что в 6 раз выше, чем у вод

“Эссентуки № 17”. Однако это не помешало авторам ГОСТа отнести воды “Нагутская-17” к гидрохимическому типу “Эссентукский № 17”.

Результаты проведенных исследований показывают различия в условиях формирования вод хлоридно-гидрокарбонатного состава с минерализацией 7–14 г/дм³ в границах Эссентукского и Нагутского месторождений, а также применимость информационного анализа для решения задач, связанных с оценкой и сравнением природных условий формирования минеральных подземных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоусова А.П., Гавич И.К., Лисенков А.Б., Попов Е.В. Экологическая гидрогеология. Учебник для вузов. М.: ИКЦ “Академкнига”, 2006. 397 с.
2. Гонна В.Д. Введение в алгебраическую теорию информации. М.: Наука. Физматлит, 1995. 112 с.
3. Кавказские минеральные воды/ Иванова В.В. (ред.). М.: Профиздат, 1972. 158 с.
4. Каталог открытой геоинформации: [Электронный ресурс] // URL: <http://opengeodata.ru/радар> (дата обращения: 18.01.2017).
5. Королев Б.И., Лисенков А.Б., Грохольский Н.С. Диагностика и прогноз состояния эколого-гидрогеологических систем на основе анализа ландшафтной и геоэкологической информации // Разведка и охрана недр. 2012. № 10. С. 14–17.
6. Лисенков А.Б. Информационный подход к распознаванию образов при решении эколого-гидрогеологических задач // Геоэкология. 1994. № 4. С. 119–131.
7. Лисенков А.Б., Королёв Б.И., Лиманцева О.А. Изучение условий формирования углекислых минеральных вод Северного Кавказа на основе информационного анализа // Изв. Вузов. Геология и разведка. 2012. № 2. С. 5–11.
8. Лисенков А.Б., Лиманцева О.А., Ли Цзюньюань. Оценка загрязнения подземных вод в пределах орошаемого района провинции Шэньси (КНР) // Изв. Вузов. Геология и разведка, 2012, № 4. С. 41–46.
9. Овчинников А.М. Минеральные воды. М.: Госгеолтехиздат, 1963. 375 с.
10. Погорельский Н.С. Углекислые воды большого района Кавказских Минеральных Вод. Ставрополь: Ставропольское книжное издательство, 1973. 389 с.
11. Швеиц В.М., Лисенков А.Б., Попов Е.В., Лиманцева О.А. Классификация родников на территории г. Москвы // Геологический вестник центральных регионов России. 2000. № 2. С. 3–12.
12. Jenks, George F. The Data Model Concept in Statistical Mapping // International Yearbook of Cartography. 1967. V. 7. P. 186–190.

REFERENCES

1. Belousova, A.P., Gavich, I.K., Lisenkov, A.B., Popov, E.V. *Ekologicheskaya gidrogeologiya* [Environmental hydrogeology]. Moscow, IKTs Akademkniga Publ. 2006. 397 p. (in Russian)
2. Goppa, V.D. *Vvedenie v algebraicheskuyu teoriyu informatsii* [Introduction to algebraic information theory]. Moscow, Nauka Publ. Fizmatlit Publ, 1995. 112 p. (in Russian)
3. *Kavkazskie mineral'nye vody* [Caucasian mineral waters]. Ivanova V.V., Ed., Moscow, Profizdat Publ, 1972. 158 p. (in Russian)
4. *Katalog otkrytoi geoinformatsii* [Catalog of open geoinformation]. Available at: <http://opengeodata.ru/радар> (accessed 18.01.2017).
5. Korolev, B.I., Lisenkov, A.B., Grokhol'skii, N.S. *Diagnostika i prognoz sostoyaniya ekologo-gidrogeologicheskikh sistem na osnove analiza landshaftnoi i geoeologicheskoi informatsii* [Diagnostics and forecast of the condition of ecological and hydrological systems on the basis of the analysis of landscape and geoeological information]. *Razvedka i okhrana nedr*, 2012, no.10, pp. 14–17. (in Russian)
6. Lisenkov, A.B. *Informatsionnyi podkhod k raspoznavaniyu obrazov pri reshenii ekologo-gidrogeologicheskikh zadach* [Information approach to pattern recognition in solving ecological and hydrogeological problems]. *Geoekologiya*, 1994, no.4, pp.119–131. (in Russian)
7. Lisenkov, A.B., Korolev, B.I., Limantseva, O.A. *Izuchenie uslovii formirovaniya uglekislykh mineral'nykh vod Severnogo Kavkaza na osnove informatsionnogo analiza* [The study of conditions of formation of carbon dioxide mineral waters of the North Caucasus on the basis of information analysis]. *Izv. Vuzov. Geologiya i razvedka*, 2012, no.2, pp. 5–11. (in Russian)
8. Lisenkov, A.B., Limantseva, O.A., Li Tszyun'yuan'. *Otsenka zagryazneniya podzemnykh vod v predelakh oroshaemogo raiona provintsii Shen'si (KNR)* [Assessment of groundwater pollution within an irrigated district of Shanxi province of China]. *Izv. Vuzov. Geologiya i razvedka*, 2012, no. 4. (in Russian)
9. Ovchinnikov, A.M. *Mineral'nye vody* [Mineral water]. Moscow, Gosgeoltekhizdat Publ., 1963, 375 p. (in Russian)
10. Pogorel'skii, N.S. *Uglekislye vody bol'shogo raiona Kavkazskikh Mineral'nykh Vod* [Carbon dioxide water in a large area of the Caucasus Mineral Waters]. Stavropol, Stavropol'skoe knizhnoe izdatel'stvo, 1973, 389 p. (in Russian)
11. Shvets, V.M., Lisenkov, A.B., Popov, E.V., Limantseva, O.A. *Klassifikatsiya rodnikov na territorii g. Moskvy* [Classification of springs in the territory of Moscow]. *Geologicheskii vestnik tsentral'nykh regionov Rossii*, 2000, no.2, pp. 3–12. (in Russian)
12. Jenks, George F. The Data Model Concept in Statistical Mapping. *International Yearbook of Cartography*, 1967, no.7, pp. 186–190.
13. *Katalog otkrytoi geoinformatsii* [Catalog of open geoinformation]. Available at: <http://opengeodata.ru/радар> (accessed 18.01.2017).

COMPARATIVE NATURAL CONDITIONS OF MINERAL GROUNDWATER FORMATION AT THE ESSENTUKI AND NAGUTA DEPOSITS

B.I. Korolev*, A.B. Lisenkov**

*Federal State Budgetary Institution "Gidrospetzgeologia", ul. Marshala Rybalko 4, Moscow, 123060 Russia.
E-mail: korolyev@mail.ru

**Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University, ul. Miklukho-Maklaya 23, Moscow, 117997 Russia.
E-mail: lisenkov.rsgpu@mail.ru

The article presents comparative natural conditions of forming mineral groundwater of chloride-hydrocarbonate composition with a salinity of 7–14 g/dm³ at the Essentuki and Naguta deposits. The comparison is made on the basis of information analysis allowing us to allocate the informative indications describing the geological environment within the boundaries of the studied objects, and have the greatest impact on the formation of the output parameters Y_i . The output parameters (Y_i) are used that characterize the mineral water of chloride-hydrocarbonate composition with a salinity of 7–14 g/dm³ and also those that characterize the content of free carbon dioxide in groundwater of targeted hydrogeological units in the Essentuki and Naguta deposits. By the results of research the similarities and differences are revealed in the formation of mineral chloride-hydrocarbonate water with a salinity of 7–14 g/dm³ in the Essentuki and Naguta deposits; and the possible areas of the receipt of the target carbon dioxide in the hydrogeological units are identified. The assumption is made about the low rate of replenishment of pure mineral groundwater of Essentuki type in the upper Cretaceous aquifer, lagging behind the rate of water production of this aquifer.

Key words: information analysis, mineral groundwater, Essentuki deposit, Naguta deposit, conditions of formation, informative, information model.