

На правах рукописи



КОРОЛЕВ Борис Игоревич

**ИЗУЧЕНИЕ КИСЛОВОДСКОГО И ЕССЕНТУКСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ
УГЛЕКИСЛЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ
ИНФОРМАЦИОННОГО АНАЛИЗА**

Специальность 25.00.07 - Гидрогеология

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук**

МОСКВА
2010

Работа выполнена на кафедре гидрогеологии Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе.

Научный руководитель:

доктор геолого-минералогических наук,
профессор Александр Борисович Лисенков

Официальные оппоненты:

доктор геолого-минералогических наук,
профессор Владимир Бориевич Адилов

доктор геолого-минералогических наук,
профессор Александр Петрович Хаустов

Ведущая организация:

ОАО «Нарзан», Кисловодск

Защита диссертации состоится 30 сентября 2010 г. в 15 часов в ауд. 5-49 на заседании диссертационного совета ДМ 212.121.01 при Российском государственном геологоразведочном университете по адресу: 117997, г. Москва, ГСП-7, ул. Миклухо-Маклая, д.23.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе.

Отзывы на автореферат просим направлять по адресу:
117997, г. Москва, ГСП-7, ул. Миклухо-Маклая, д. 23,
Российский государственный геологоразведочный университет,
ученому секретарю диссертационного совета ДМ 212.121.01.

Автореферат разослан « 27 » августа 2010 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат геолого-минералогических наук, доцент



О.Е. Вязкова

Актуальность работы. Территория Кавказских Минеральных Вод (КМВ) имеет статус особо охраняемого эколого-курортного региона, учрежденный указом Президента Российской Федерации от 27.03.1997, и характеризуется широким развитием совокупности ценных в бальнеологическом отношении, редко встречающихся в природе минеральных вод и благоприятных климатических факторов. Благодаря высокоэффективным бальнеологическим свойствам, минеральные воды региона КМВ по праву пользуются известностью не только на территории Российской Федерации, но и за её пределами. Среди них выделяются углекислые, сероводородные, углекисло-сероводородные и радоновые, в том числе имеющие мировую известность: "Ессентуки-17", "Ессентуки-4", "Нарзан", "Славяновская", "Смирновская". Тем не менее, по данным государственного мониторинга подземных вод в регионе КМВ отмечается ухудшение качества минеральных вод. В результате совокупного техногенного воздействия на геологическую среду из баланса потребления выведены некоторые разновидности питьевых и бальнеологических вод. На Кисловодском курорте – это источник «Чивелли», на Ессентукском – источники «Ессентуки 20» и «Гаазо-Пономаревский». Высоко востребованная минеральная вода главного источника «Нарзан» (каптированный источник в Курортном парке) загрязнена микробиологически, и часть её после санации используется здравницами курорта для ванн. В связи с повсеместной застройкой г.Ессентуки, нарастает риск загрязнения жемчужины Кавказских Минеральных Вод – источников «Ессентуки-17» и «Ессентуки-4», находящихся в черте города и в Лечебном парке.

В связи с высоким спросом на природные минеральные столовые воды в регионе КМВ отмечается активизация строительства новых заводов-розлива и реконструкция ранее сооруженных, что вызывает постановку геологоразведочных работ на многих участках, ранее считавшихся неперспективными по некондиционному содержанию углекислоты и минерализации в подземных водах. На сегодня в округе горно-санитарной охраны региона КМВ уже имеется более 500 скважин различного назначения на высоконапорные минеральные воды. Техническое состояние ряда скважин оценивается как неудовлетворительное, а иногда и как аварийное, что создает опасность возникновения экологических проблем на ряде эксплуатируемых месторождениях минеральных вод. По этой причине возникла необходимость поисков новых месторождений минеральных вод с привлечением нестандартных методов изучения, обеспечивающих сохранность экологического состояния территории. Кроме того, использование нестандартных методов позволит повысить экономическую эффективность поисковой стадии за счет снижения затрат на проведение буровых работ и геофизических исследований. Такой подход становится реальным в процессе создания пространственных информационных моделей, адаптирующихся к реальной ситуации в процессе обучения на хорошо изученных участках и распознавания гидрогеологической ситуации в районах, где ведутся поиски месторождений минеральных вод.

Цель работы. Изучение Кисловодского и Ессентукского месторождений минеральных вод, что включает в себя создание пространственных информационных моделей этих месторождений для уточнения условий формирования минеральных вод, а также для прогнозирования наличия зон различной минерализации и повышенной концентрации углекислоты в подземных водах.

Основные задачи исследований.

1. Усовершенствование и адаптация алгоритма информационного анализа для целей изучения месторождений минеральных вод;
2. Составление перечня признаков для построения пространственных информационных моделей Кисловодского и Ессентукского месторождений минеральных вод;

3. Выбор оптимального комплекса информативных простых и сложных признаков и выполнение серии операций по распознаванию выходных показателей Y^* в тестовых и прогнозных частях моделей;

4. Картирование выявленных участков повышенных концентраций углекислоты и минерализации в пределах прогнозных частей изучаемой территории;

5. Интерпретация матриц взаимной информативности и уточнение закономерностей формирования минеральных вод на территории Кисловодского и Ессентукского месторождений минеральных вод.

Личный вклад автора и методы исследований. Настоящая диссертационная работа является логическим продолжением научных работ, проводимых на кафедре гидрогеологии РГГРУ под руководством профессора, д.г.-м.н. А.Б Лисенкова, которая расширяет методические подходы к изучению и поискам месторождений углекислых минеральных вод. Автором расширены возможности информационного анализа и проведена его адаптация, применительно к изучению месторождений углекислых минеральных вод региона КМВ. Методы исследований заключались в использовании широкого комплекса средств, включающего анализ и обобщение фондовых и литературных данных, дешифрирование космических изображений, обработку данных в ГИС среде, информационные расчеты, анализ и графическую интерпретацию полученных результатов.

Фактическая основа исследований. Исходным геолого-гидрогеологическим материалом, положенным в основу исследований, послужили:

- результаты буровых, геологических и гидрогеологических работ, проводимых на изучаемой территории в разные годы;

- данные дистанционного зондирования Земли, выполненного сенсором Landsat TM;

- опубликованная и фондовая литература большого числа авторов, в том числе:

А.М. Овчинникова, А.Б. Островского, Н.С. Погорельского, В.Г. Тимохина, С.А. Шагоянца, В.Б. Адилова, А.Б. Лисенкова и других.

Научная новизна.

1. Усовершенствован и адаптирован алгоритм информационного анализа для целей изучения и прогнозирования месторождений минеральных вод региона КМВ;

2. Впервые были построены пространственные информационные модели Кисловодского и Ессентукского месторождений углекислых минеральных вод, на основе которых были выделены поисковые признаки на минеральные воды типа «Нарзан» и «Ессентуки».

3. На основе информационного анализа были уточнены основные закономерности формирования углекислых минеральных вод Кисловодского и Ессентукского месторождений, и установлена роль линейментов различных простираний в формировании минеральных вод типа «Нарзан» и «Ессентуки».

Практическая значимость. Информационный анализ позволяет снизить экономические затраты при проведении поисковых работ в условиях достаточной изученности региона, за счет обучения и тестирования модели на известных участках и распознавания гидрогеологической ситуации на недостаточно изученных территориях. Также информационный анализ может быть применен при гидрогеологическом картировании в условиях недостаточной обеспеченности пунктами получения информации.

* - В качестве Y автор в работе рассматривает основные лечебные макросвойства минеральных вод – минерализацию и концентрацию углекислоты

Защищаемые положения.

1. Использованный в работе алгоритм информационного анализа позволил выделить информативные признаки, характеризующие особенности геологического строения и гидрогеологических условий месторождений углекислых минеральных вод КМВ.

2. Для месторождений минеральных вод типа «Нарзан» и «Ессентуки» определены конкретные ландшафтные, геологические, тектонические и гидрогеологические информативные признаки, по которым выполнено прогнозирование участков с повышенной концентрацией CO_2 и различной величиной минерализации минеральных вод.

3. Созданные пространственные информационные модели изученных месторождений уточнили основные закономерности их формирования и подтвердили гипотезу глубинного генезиса углекислоты.

Апробация результатов исследований. Работа прошла апробацию и получила одобрение на научных конференциях: «Молодые - наукам о Земле», Москва, РГГРУ, 2010; Международной научной конференции: «Гидрогеология в начале XXI века», Новочеркасск, НПИ, 2006; Научной конференции: «Гидрогеология, инженерная геология и гидрогеоэкология», Томск, ТПУ, 2005; Международном симпозиуме «Будущее гидрогеологии: современные тенденции и перспективы», Санкт-Петербург, 2007; семинаре ЗАО «Геолинк» «Актуальные вопросы гидрогеологии и геоэкологии», Москва, 2009 г. По теме диссертации опубликовано 9 работ, в том числе 3 работы в изданиях, входящих в перечень ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав, заключения и списка литературы, содержащего 94 наименования, изложена на 151 странице, содержит 34 рисунка, 19 таблиц и 33 приложения.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю профессору кафедры гидрогеологии РГГРУ, заслуженному деятелю науки РФ, д.г.-м.н. А.Б. Лисенкову за внимание, ценные советы и помощь при выполнении работы; заведующему кафедрой гидрогеологии РГГРУ, заслуженному деятелю науки РСФСР, д.г.-м.н. В.М. Швецу и всем сотрудникам кафедры гидрогеологии за внимание и всестороннюю помощь. Автор крайне признателен сотрудникам Федерального агентства по недропользованию «Роснедра» к.г.-м.н. Е.В. Попову и к.г.-м.н. Р.В. Грушину за помощь при выполнении работы. Автор благодарит д.г.-м.н., профессора кафедры гидрогеологии РГГРУ, д.г.-м.н. В.А. Грабовникова, доцента кафедры гидрогеологии РГГРУ, к.г.-м.н. Н.В. Фисун, к.г.-м.н. Е.Г. Потапова (ОАО «Холод»), к.г.-м.н. А.Н. Клюквина (ЗАО «Геолинк»), к.г.-м.н. А.В. Платонову (ФГУГП «Гидроспецгеология») за ценные советы.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и основные задачи работы, показаны научная новизна и практическая значимость исследований.

В первой главе рассматривается опыт применения алгебраической теории информации в геолого-гидрогеологических исследованиях, математический аппарат информационного анализа и алгоритм информационного анализа, адаптированный для изучения и поисков месторождений минеральных вод. Основоположниками теории информации можно считать Р. Хартли (1928), который впервые предложил логарифмическую меру информативности, и К. Шеннона (1948), отчетливо сформулировавшего положения этой теории. Обобщение алгебраической сущности информации провел В.Д. Гоппа (1984), впервые предложивший алгоритм вычисления

информационных характеристик при декодировании, хотя некоторые идеи по применению элементов теории информации для распознавания образов предлагались и ранее (И.И. Елисеева, Рукавишников В.О., 1977).

Наиболее яркие примеры реализации существующих алгоритмов распознавания образов в геологических исследованиях приведены в работах Губермана Ш.А (1987), Никитина А.А.(1984), Еремеева А.Н.(1976), Пинелиса Р.Г. с соавторами (1975). Большинство из них базируется на логических правилах, заложенных в алгоритмы «Кора - 1, -2, -3», «Перебор», «Тупиковых тестов», «Тау», «Энтропия» и др.

Приведенные выше алгоритмы реализованы на практике в геологии для корреляции разрезов скважин, интерпретации результатов каротажа, изучении сейсмичности отдельных регионов, прогнозировании месторождений олова, ртути и т.д.

Широкое применение аппарата теории информации нашло в географических науках и наиболее интересной в этом отношении является монография А.Д.Арманда (1975), в которой автор аргументировано иллюстрирует возможность генерации и передачи информации в пределах физико-географических систем и между ними.

В качестве примера практического использования энтропийной меры информации в геологии следует привести работы Е.Б.Высокоостровской и Д.С.Зеленецкого (1968). Информационную энтропию авторы аппроксимируют, как вероятность наличия рудного тела, которая впоследствии заменяется частотой встречаемости признаков оруденения в интервалах их квантования.

Первой работой по использованию теории информации в инженерной геологии следует считать работу И.С.Комарова и Н.М.Хайме (1968). Для описания меры неоднородности инженерно-геологических объектов авторами использован информационный коэффициент корреляции, выведенный С. Кульбаком (1967) для оценки сравнительной информативности признаков. Впоследствии В.В.Пендин (1992) для оценки степени неоднородности строения инженерно-геологических разрезов использовал относительную энтропию.

В гидрогеологии К.П. Караванов (1980) использовал информационную энтропию в качестве оценки категории сложности проведения съемочных работ и как меру количества информации, содержащейся в изучаемом объекте или изображенной на гидрогеологической карте.

В работах А.Б. Лисенкова, автор использовал величину взаимной информативности, как меру информативности объектов. На основе информационного анализа были выполнены работы по оценке условий загрязнения месторождений подземных вод хозяйственно-питьевого назначения, проведено диагностирование реакции состояния эколого-гидрогеологических систем на техногенное воздействие, разработаны шкалы оценки ландшафтов в районах выходов подземных вод на территории г. Москвы.

Как можно увидеть из краткого обзора, использование информационного подхода в геологических, инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях имеет определенное научно-практическое значение и перспективу для дальнейшего применения. Возвращаясь к вопросам гидрогеологии, мы акцентируем внимание на комплексных возможностях метода информационного анализа, позволяющих учитывать максимально возможное число факторов, влияющих на формирование и изменение химического состава минеральных вод. Имея в качестве стратегической цели решение задач по изучению и прогнозированию месторождений минеральных вод, информационный анализ позволяет выполнять изучение общих геолого-гидрогеологических условий и решить прогнозную задачу. Совокупное использование в процессе анализа математических и неформальных процедур, позволяющих корректировать промежуточные результаты, обучать модель в

соответствии с принципом Эшби, делают саму методологию эвристической по своей сути. По нашему мнению, именно эвристические, обучающиеся модели способны наиболее полно реализовать и диагностировать сущность природной системы или ее концептуальной модели, в силу их природной и информационной сложности.

Пространственная информационная модель - это система сориентированных в геологическом пространстве информативных признаков, анализ и интерпретация которых позволяют решать следующие задачи: оценка и уточнение условий формирования подземных вод и прогнозирование наличия месторождений минеральных вод (А.Б. Лисенков, 2005).

Реализация пространственных моделей осуществляется в три этапа. На первом этапе происходит формирование исходной модели, проводится анализ геолого-гидрогеологических условий с целью формирования концептуальной модели изучаемого объекта, на базе которой составляется перечень показателей. Согласно выбранному перечню показателей, определяется набор картографических материалов (карт, схем, разрезов, результатов дешифрирования данных ДЗЗ). Получение карт признаков осуществляется с использованием математического аппарата современных ГИС, что позволяет добиться высокой пространственной точности получаемых результатов. Далее выбираются расчетные узлы системы. В качестве расчетных узлов выступают блоки сетки, на которые целесообразно делить моделируемую область для осреднения в их пределах информации и “приведения” ее к центрам блоков. Размеры блоков на карте выбираются исходя из поставленной задачи, и, следовательно, размеры зависят от масштаба картирования. В соответствии с рекомендациями для эколого-гидрогеологических исследований (Клюквин А.Н., 1990) выбран размер блоков 1*1 км.

На втором этапе происходит формирование информационной модели. Этап начинается с получения фактических значений показателей (x_i) и их ранжирования. Получение фактических значений показателей осуществляется с использованием ГИС. Процесс ранжирования представляет собой разбиение диапазона фактических значений каждого показателя на ранжированные интервалы. Далее осуществляется разбиение территории на “обучающую”, “тестовую” и “прогнозную” части. “Обучающая” часть в последующем используется для калибровки информационной модели, “тестовая” - для контроля результатов обучения. По обучающей части проводится расчет взаимной информативности признаков (x_i) по отношению к выходному показателю (Y) по формуле 1.

$$I(Y : x_i) = I(Y) - I(Y / x_i), \quad (1)$$

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

Далее все показатели x_i ранжируются по величине взаимной информативности, и эксперт отбирает из них наиболее информативные. Из выбранных наиболее информативных показателей формируются сложные признаки $x_k \otimes x_n$, расчет информативности которых по отношению к Y повторяется по схеме, изложенной выше. Целью таких расчетов является наращивание прогнозных возможностей формируемой информационной модели. С математической точки зрения этот процесс реализуется в результате увеличения информативности сложных признаков, которые могут быть двойными, тройными и т.д., если добавление очередного x_i приводит к приращению величины взаимной информативности.

На этом этапе становится возможным провести оценку условий формирования минеральных вод изучаемых месторождений (дополнение информационного анализа,

разработанное автором). Для этого проводится анализ и интерпретация матриц взаимной информативности признаков, оказывающих наибольшее влияние на формирование обобщенных показателей химического состава подземных вод. Другим итогом второго этапа является сформированная из наиболее информативных сложных признаков обучающая матрица T , представляющая собой инструмент для решения прогнозных задач.

На третьем этапе оценивается эффективность составленной модели по результатам решения задачи распознавания для тестовой части территории. Для этого проводится диагностирование, которое заключается в последовательном “предъявлении” обучающей матрицы T всех объектов, входящих в тестовую часть. При этом показатели состояния, характеризующие тестовую часть модели, автоматически комплектуются в сложные признаки. Далее осуществляется поиск аналогичных признаков в обучающей матрице, после чего найденному признаку присваивается соответствующий ему номер интервала квантования, и таким образом определяется ранг выходного показателя Y . Далее выполняется оценка эффективности модели. В том случае, если эффективность решения тестовой задачи удовлетворяет определенным критериям (А.И. Гавришин, 1980), то информационную модель можно считать откалиброванной и готовой к решению прогнозных задач, если нет, модель нуждается в дальнейшей калибровке и обучении.

Во второй главе приводятся оценка и результаты геолого-гидрогеологической изученности региона Кавказских Минеральных Вод. Курорты КМВ, благодаря природным условиям, богатству и разнообразию полезных ископаемых, издавна привлекали внимание исследователей различных специальностей (геологов, гидрогеологов, климатологов, химиков, медиков и др.). Особое положение в освоении полезных ископаемых занимают подземные воды и, в первую очередь, - минеральные. Более 200 лет продолжается их изучение и эксплуатация. Значительный вклад в изучение подземных вод региона внесли: В.Г.Абих, А.П.Нелюбин, А.И.Незлобинский, Ф.П.Гааз, Ф.П.Баталин, С.А.Смирнов, А.Н.Огильви, Я.В.Лангваген, Н.И.Славянов, А.М.Овчинников, Н.С.Погорельский, И.Я.Пантелеев, С.А.Шагоянц, А.Б.Островский, Б.В.Боревский, В.Г.Тимохин и другие видные ученые.

Комплексное изучение подземных вод КМВ позволило сделать вывод, что углекислые минеральные воды (за исключением самой углекислоты) имеют инфильтрационное происхождение. В отношении происхождения углекислоты за весь период изучения региона были сформированы три основные гипотезы: поствулканическая, термометаморфическая и термодиффузионная. Автор, соглашаясь с мнением Н.С. Погорельского, А.Б. Островского и других видных гидрогеологов, считает, что углекислый газ в подземных водах, вскрытых многочисленными буровыми скважинами в районе погружения Северо-Кавказской моноклинали, имеет глубинный термометаморфический генезис, что подтверждается и изотопным составом его углерода. По этой гипотезе процессы образования углекислоты на глубине в кристаллических породах палеозоя, служащих источником формирования минеральных вод района КМВ, продолжают непрерывно.

К наиболее сложным вопросам формирования месторождений углекислых минеральных вод КМВ, по которым гидрогеологи пока ещё не пришли к единому мнению, относится наличие двух четко выраженных ярусов субпластовой инъекции углекислых вод: нижний – в титоно-валанджинском и верхний – в верхнемеловом и нижнепалеоценовом водоносных горизонтах.

Так, применительно к Эссентукскому месторождению И.Я. Пантелеев и С.А. Шагоянц выдвинули гипотезу о подземном пластовом подтоке углекислых минеральных вод по

верхнемеловому и нижнепалеоценовому водоносным горизонтам с севера на юг от широтного Нагутского разлома (флексурно-разрывной зоны).

А.М.Овчинников и И.И.Кобзев считали, что в пределах Эссентукского месторождения внедрение углекислых минеральных вод в верхнемеловой и нижнепалеоценовый водоносные горизонты происходит в районе гор-лаколлитов, от которых эти воды движутся с северо-востока на юго-запад по восстанию водовмещающих пород.

Н.С. Погорельский, А.Б. Островский, Г.М. Требухова и др., следуя в определенной мере взглядам А.Н. Огильви, считали, что инжекция углекислых вод в верхнемеловые и нижнепалеоценовые отложения происходит из титоно-валанжинских отложений по местным зонам разломов.

В связи с наличием неоднозначной ситуации, при построении пространственной информационной модели Эссентукского месторождения необходимо учесть признаки, характеризующие геологическую структуру Эссентукского месторождения. Особое внимание автор уделил признакам, характеризующим тектоническое строение изучаемой территории, поскольку именно разрывные нарушения и зоны концентраций деформаций осадочного чехла являются вероятными проводниками углекислоты, мигрирующей из пород фундамента.

В третьей главе рассмотрены геолого-гидрогеологические условия Кисловодского и Эссентукского месторождений минеральных вод. В гидрогеологическом отношении район КМВ лежит в пределах обширного артезианского бассейна (Минераловодский АБ), имеющего ассиметричное строение, что придает ему характер артезианского склона (по В.С. Ильину и А.М. Овчинникову). Моноклиальный характер геологической структуры, осложненной тектоническими нарушениями и постепенное погружение более древних пород под относительно молодые, определяют деление всего района на две части: область питания (краевая часть артезианского бассейна) и область движения напорных вод.

Кисловодское месторождение минеральных вод расположено на юго-западе Минераловодского артезианского бассейна и принадлежит к его краевой части. Все участки Кисловодского месторождения находятся в границах Кисловодской сбросово-раздвиговой зоны растяжений Кисловодско-Кумагорской зоны концентрации левосдвиговых деформаций.

В геологическом строении Кисловодского месторождения принимает участие комплекс сильно дислоцированных и метаморфизованных кристаллических сланцев протерозоя и гранитов палеозоя и комплекс осадочных пород верхней юры и нижнего мела. В пределах Кисловодского месторождения продуктивным горизонтом на минеральные воды типа «Нарзан» является титоно-валанжинский водоносный горизонт.

Эссентукское месторождение минеральных вод расположено в центре Минераловодского артезианского бассейна и принадлежит к области транзита подземных вод. Эссентукское месторождение приурочено к широкой полосе тектонических нарушений (Эссентукская зона растяжений) Кисловодско-Кумагорской зоны концентрации левосдвиговых деформаций.

В гидрогеологическом разрезе района выделено две основные водонапорные серии, одна из которых связана с породами байкальского и герцинского структурных этажей, а вторая – с мезо-кайнозойскими образованиями альпийского структурного этажа.

В пределах Эссентукского месторождения продуктивными горизонтами на минеральные воды типа «Эссентуки» являются титоно-валанжинский, верхнемеловой и эльбурганский водоносные горизонты.

В четвертой главе кратко сформулированы основные особенности формирования минеральных вод территории КМВ, совокупность которых определяет концептуальную

модель объектов исследования. Также приводится перечень показателей, участвующих в моделировании и методы получения исходной информации.

На основе изучения литературных данных и анализа производственных отчетов были составлены концептуальные модели Кисловодского и Ессентукского месторождений углекислых минеральных вод.

Концептуальная модель Кисловодского месторождения минеральных вод.

Последовательно, условия формирования углекислых минеральных вод «Нарзан» в пределах Кисловодского месторождения могут быть сформированы следующим образом:

1. По своему генезису минеральные воды Кисловодского месторождения инфильтрационные (в области питания) или смешанные (область погружения). Однако, процесс смешения начинается уже в области питания, на участках перетекания более солёных и более древних вод.

2. Локальными областями разгрузки подземных вод титон-валанжинского и вышележащего готерив-барремского горизонтов являются долины рек, имеющие глубокие эрозионные врезы (с перепадами высот 100 – 200м). Как правило, долины рек заложены вдоль крупных разломов или зон трещиноватости северо-восточного простирания и, следовательно, области разгрузки углекислых минеральных вод имеют тектонический характер.

3. В условиях современной эксплуатации минеральных вод в районе Кисловодска в титоно-валанжинском водоносном горизонте сформировалась депрессия с понижением уровней до 30 – 50 м., но общее северо-восточное направление движения подземных вод сохраняется.

4. Вертикальная гидродинамическая зональность в центральной части месторождения нормальная, т.е. напоры нижерасположенных водоносных горизонтов, как и перетекание подземных вод, передаются последовательно снизу вверх от протерозой-палеозойского фундамента с локально-водоносными трещинно-жильными зонами в титон-валанжинский и выше в готерив-барремский водоносные горизонты.

5. В южной и юго-восточной частях Кисловодского месторождения в пределах склонов долин и междолинных водораздельных пространств существует инверсия вертикального распределения напоров.

6. Увеличение общей минерализации углекислых вод в известняках и песчаниках титоно-валанжина происходит в северо-восточном направлении, что свидетельствует о том, что химический состав углекислых вод типа «Нарзан» формируются в основном за счёт выщелачивания горных пород при активном участии углекислого газа. Дополнительное насыщение углекислых вод титоно-валанжина сульфатами осуществляется в основном за счёт наличия скоплений гипса на отдельных участках горизонта.

8. Одним из ведущих факторов, определяющих условия формирования углекислых минеральных вод Кисловодского месторождения, является тектоника:

- Источником углекислоты в подземных юрско-меловых водах являются породы кристаллического фундамента;

- Местами поступления углекислоты в водоносные горизонты являются разломы в породах кристаллического фундамента или зоны трещиноватости в фундаменте и отложениях осадочного чехла.

В самом общем виде концептуальная модель объекта исследований представлена на рисунке 1.

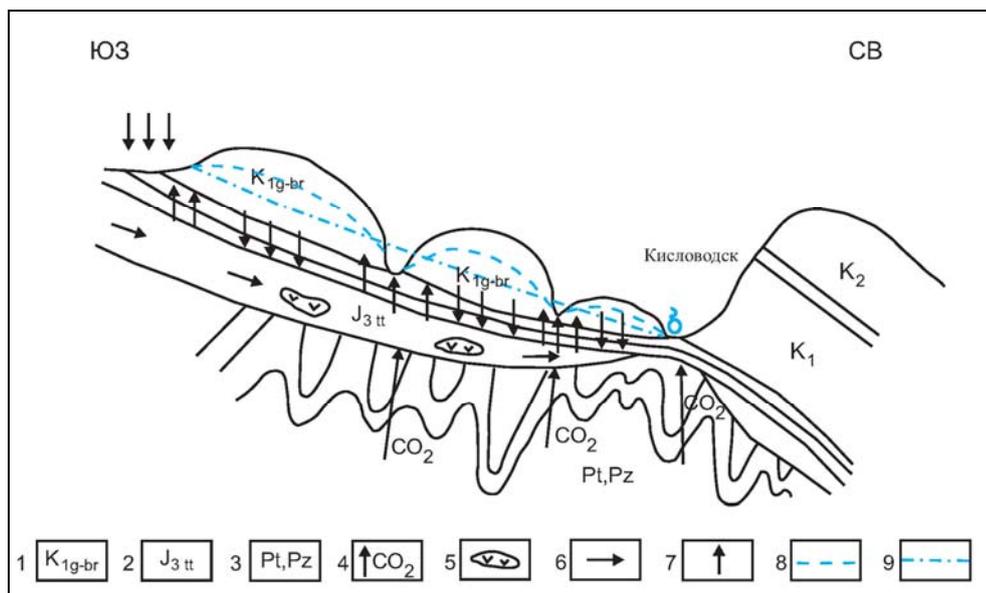


Рис.1. Концептуальная схема формирования углекислых минеральных вод «Нарзан» в районе Кисловодска (по А.М. Овчинникову).

1- готерив – барремский водоносный горизонт, 2- титонский водоносный подгоризонт, 3- протерозой – палеозойский фундамент, 4- направление движения CO_2 , 5- линзы гипса в отложениях титона, 6- направление латерального перемещения подземных вод, 7- направление вертикального водообмена, 8- уровень подземных вод готерив-барремского водоносного горизонта, 9- уровень подземных вод титон-валанжинского водоносного горизонта.

Концептуальная модель Эссентукского месторождения минеральных вод.

Концептуальная модель формирования углекислых минеральных вод Эссентукского месторождения во многом схожа с моделью Кисловодского месторождения, но имеются принципиальные отличия, которые необходимо учитывать при оценке условий формирования подземных вод.

1. По своему генезису минеральные воды Эссентукского месторождения – смешанные. Они имеют инфильтрационный генезис в районах севернее Кисловодска и в районе Эссентуков. В процессе погружения эльбурганского и верхнемелового водоносных горизонтов на север, подземные инфильторенные воды смешиваются с древними водами морского генезиса, на что указывает повышенное содержание хлоридов натрия и хлор-бромное отношение близкое по значению к 300.

2. Локальными областями разгрузки эльбурганского и верхнемелового водоносных горизонтов являются эрозионные врезы долин рек (Подкумка и его притоков), а так же в районах лакколитов Пятигорья (Машук, Бык, Бештау и др.).

3. В условиях современной эксплуатации минеральных вод Эссентуков, Пятигорска, Железноводска и в других районах сформировалась депрессионная область с максимальными понижениями на участках месторождений, что создаёт условия для инверсии питания эльбурганско-верхнемелового водоносного комплекса и потенциальную возможность его загрязнения.

4. Современный тектонический план территории и неотектонические подвижки контролируют процесс формирования подземных минеральных вод и общее направление их миграции, определённое разломами северо-восточной ориентировки. Пересекающие их разломы того же порядка имеют северо-западный азимут простираия.

5. Основные месторождения Эссентукского типа приурочены к «узлам» пересечения разломов северо-восточной и северо-западной ориентировки, по которым

происходит миграция углекислого флюида из палеозойского фундамента в осадочный чехол.

В самом общем виде концептуальная модель объекта исследований представлена на рисунке 2.

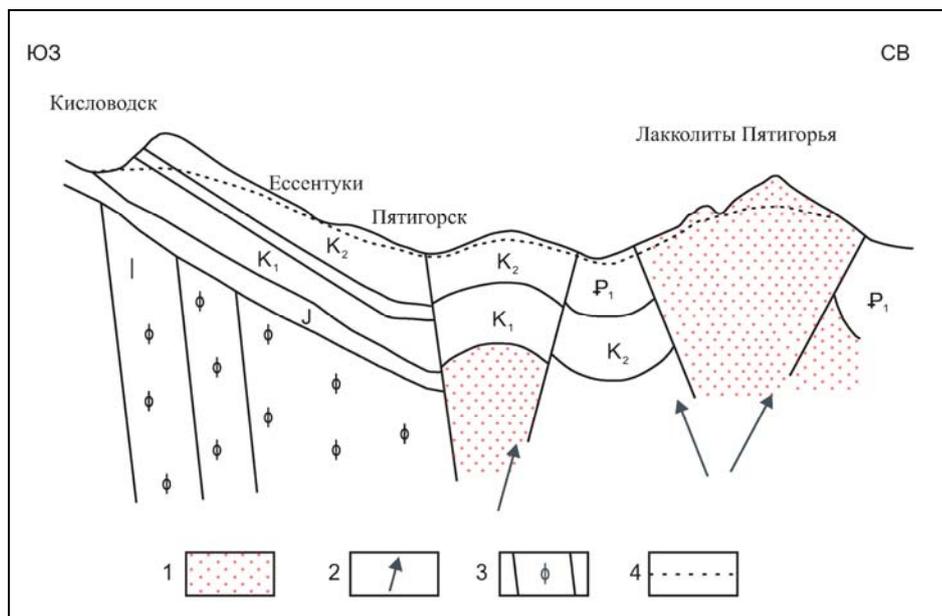


Рис.2. Концептуальная схема формирования углекислых минеральных вод в районе г. Эссентуки (по А.М. Овчинникову).

1- трахилипариты, 2- направление движения CO_2 , 3- палеозойский фундамент, 4- граница развития углекислых минеральных вод.

Для описания принятых концептуальных моделей объектов изучения автором были выделены 5 групп показателей:

Ландшафтные. Выбор данных показателей для построения информационных пространственных моделей обусловлен тем, что именно ландшафтные условия определяют интенсивность и характер водообмена поверхностных вод, их связь с подземными и, следовательно, характер переноса и накопления вещества в различных ландшафтных условиях (водоразделы, склоны, речные долины, овраги).

Геологические. В качестве геологических показателей, характеризующих объекты исследований, выбраны те, которые, по мнению автора, отражают:

1. Влияние геологической структуры изучаемых месторождений на формирование химического состава минеральных вод.

2. Влияние пород кристаллического фундамента и углекислоты, поступающей по зонам разломов, на гидрогеохимические условия титано-валанжинского и эльбурганского водоносных горизонтов.

Тектонические. В этой группе предлагаются показатели, характеризующие наличие участков возможного поступления углекислоты из пород кристаллического фундамента.

Показатели техногенной нагрузки. В этой группе показателей автор ограничился только теми, которые могут быть получены при дешифрировании КФС и с использованием ГИС.

Гидрогеологические. В эту группу вошли показатели, с помощью которых, с одной стороны, можно оценить интенсивность латерального и вертикального массопереноса, а с другой стороны - бальнеологические качества углекислых минеральных вод. В качестве обобщенных показателей, по которым можно оценивать бальнеологические свойства

минеральных вод, мы предлагаем выделить: общую минерализацию – М (г/л) и концентрацию CO_2 (г/л).

Методы получения информации

Была собрана и проанализирована изданная и фондовая геолого-гидрогеологическая информация по территории Северного Предкавказья с целью построения концептуальных моделей формирования минеральных вод изучаемых месторождений и выбора участка для построения пространственных информационных моделей. Для получения карт показателей был построен ГИС-проект на базе программного продукта компании ESRI (ArcView GIS 3.2a). Разработанный ГИС-проект содержит разнородную геолого-гидрогеологическую информацию по 204 скважинам, пробуренным на изучаемой территории в разные годы. За счет применения ГИС эти данные имеют картографическую привязку, т.е. любая точка виртуального пространства характеризуются реальной широтой и долготой, и точки увязаны между собой, что позволяет добиться высокой пространственной точности всех полученных результатов. На основе широкого использования ГИС-технологий и возможностей математического аппарата ArcView GIS 3.2a составлены карты, и уточнен перечень используемых показателей. Основой для построения карт послужила топографическая основа региона масштаба 1:200 000. Для получения фактических значений показателей автором был разработан алгоритм, основанный на использовании ГИС, позволяющий существенно сократить время на обработку исходного картографического материала и добиться высокой пространственной и математической точности получаемых результатов.

Также в настоящей работе широко использовались современные методы автоматизированного дешифрирования КФС, реализованные с помощью программных продуктов Erdas Imaging 8.4 и Lessa, что позволило получить следующие результаты:

- уточнены и дополнены имеющиеся тектонические схемы Кисловодского и Ессентукского месторождений минеральных вод;
- построены схемы относительной плотности линияментов различного простираия в границах изучаемых объектов;
- построены схемы элементарных ландшафтов, освоенности и техногенной нагрузки для территории Кисловодского и Ессентукского месторождений минеральных вод;
- уточнено пространственное расположение поверхностных водных объектов и населенных пунктов в пределах изучаемой территории.

В пятой главе рассмотрено решение прогнозной задачи для Кисловодского и Ессентукского месторождений углекислых минеральных вод.

Пространственная информационная модель месторождений минеральных вод типа «Нарзан»

Для реализации прогнозной задачи и выделения поисковых признаков на углекислые минеральные воды типа «Нарзан» была составлена пространственная информационная модель Кисловодского месторождения углекислых минеральных вод.

Изучаемая территория была поделена на «обучающую», «тестовую» и «прогнозную» части. Граница «обучающей» и «тестовой» частей проведена по главному направлению изменчивости геологической среды – с юго-запада на северо-восток (рис.3). В обучающую и тестовую части вошли Центральный и Подкумский участки, в прогнозную часть – Березовский участок Кисловодского месторождения.

В качестве выходных показателей (Y) использованы минерализация и содержание свободной углекислоты в подземных водах титонского водоносного подгоризонта.

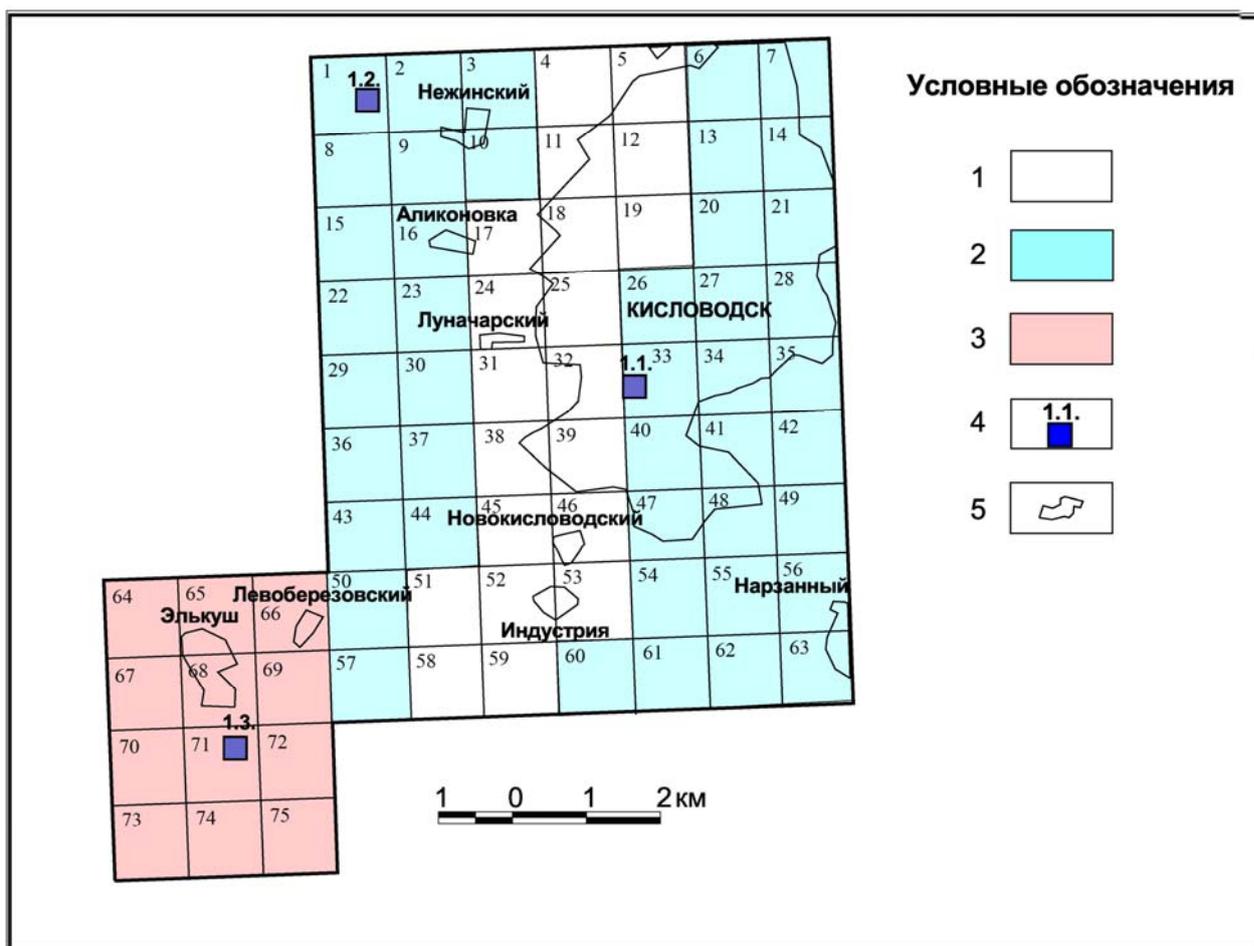


Рис.3. Схема пространственной информационной модели месторождений углекислых минеральных вод типа «Нарзан».

1 - тестовая часть территории; 2- обучающая часть территории; 3- прогнозная часть территории; 4 – участки Кисловодского месторождения (1.1.- Центральный, 1.2.-Подкумский, 1.3.-Березовский); 5 – контур населенных пунктов.

Результаты информационного моделирования по выходному признаку «концентрация углекислоты в подземных водах титонского водоносного подгоризонта»

Была рассчитана информативность показателей x_i по отношению к концентрации углекислоты. С целью выделения поисковых признаков были составлены модели с участием различного числа наиболее информативных показателей из разных групп. Результаты расчетов приведены на рисунке 4.

Наиболее эффективной по числу признаков и по величине ошибки тестирования оказалась модель, состоящая из ландшафтных, тектонических и гидрогеологических показателей (*элементарные ландшафты, относительная плотность линеаментов северо-восточного простирания, абсолютная отметка уровня титонского водоносного подгоризонта, разность абсолютных отметок уровней титонского водоносного подгоризонта и готерив-барремского водоносного горизонта*). Ошибка тестирования составила 16 % при пороге информативности сложных признаков 25%.

На базе этих показателей была сформирована матрица Т, и проведено распознавание в прогнозной части территории. По результатам распознавания была построена прогнозная карта (рис.5), на которой были выделены зоны с концентрацией углекислоты в диапазоне от 0,5 г/л до 1,5 г/л, что соответствует данным, полученным в процессе разведки и эксплуатации Березовского участка Кисловодского месторождения.

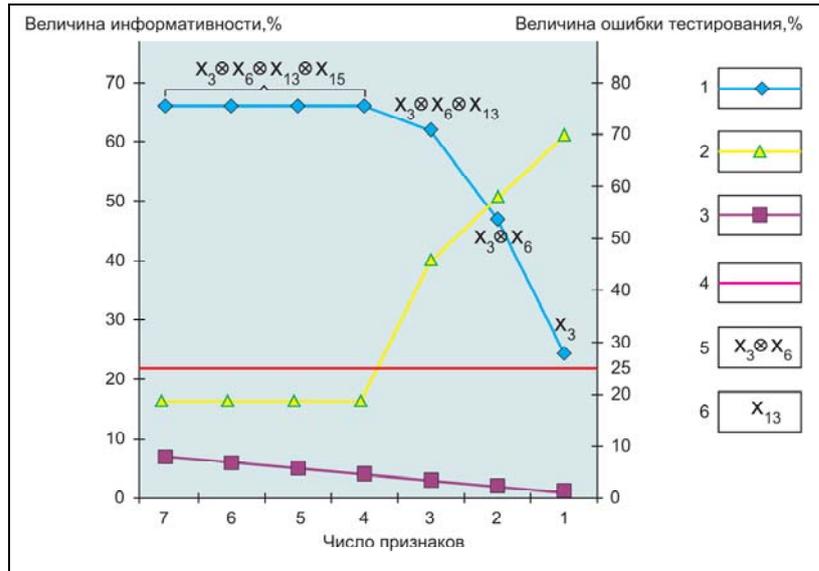


Рис. 4. Результаты составления моделей с различным числом признаков

1- максимальная величина информативности признаков, %; 2- ошибка тестирования модели, %; 3- число признаков; 4- допустимая ошибка, %; 5,6 – признаки с максимальной информативностью: 5- сложные; 6- простые (x_3 - элементарные ландшафты, x_6 - относительная плотность линейных элементов северо-восточного простирания, x_{13} - уровень титонского водоносного подгоризонта, x_{16} - разность уровней титонского водоносного подгоризонта и готерив-барремского водоносного горизонта).

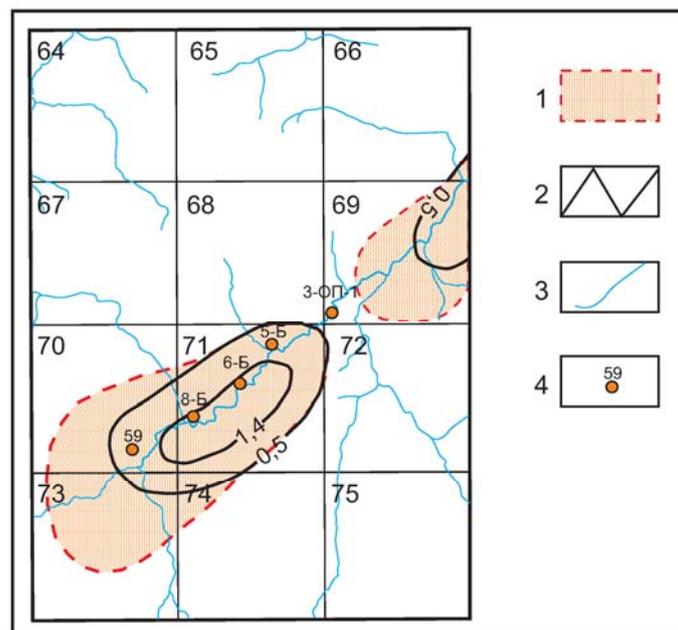


Рис.5. Результат распознавания по признаку «Концентрация углекислоты в подземных водах титонского водоносного подгоризонта»

1 – прогнозные области развития подземных вод с концентрацией углекислоты от 0,5 до 1,5 г/л; 2- фактические изолинии концентрации углекислоты, г/л; 3- гидрографическая сеть; 4- скважины.

Результаты информационного моделирования по выходному признаку «минерализация подземных вод титонского водоносного подгоризонта»

Была рассчитана информативность показателей x_i по отношению к минерализации. С целью выделения поисковых признаков были составлены модели с участием различного числа наиболее информативных показателей из разных групп. Результаты расчетов приведены на рисунке 6.

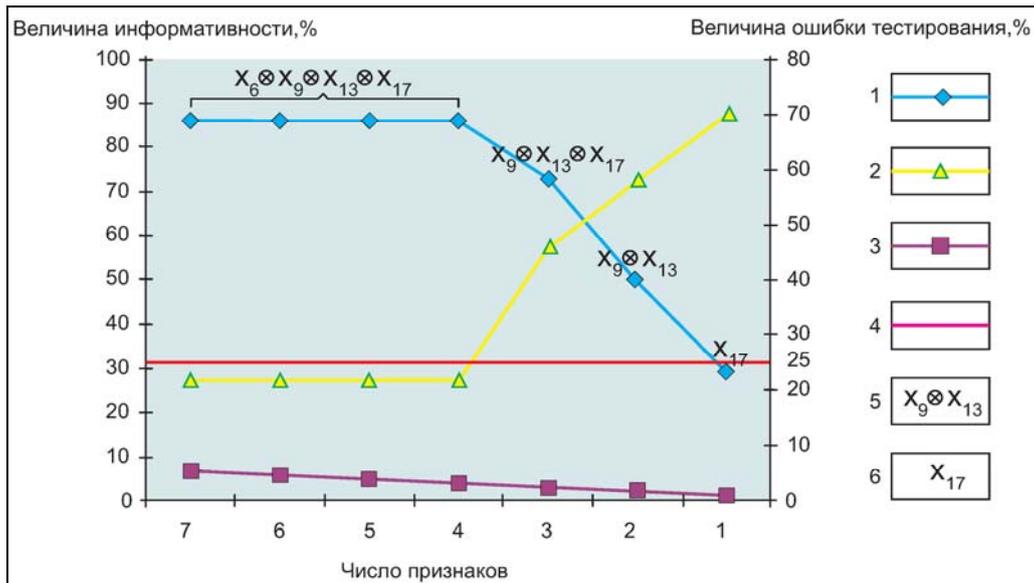


Рис.6. Результаты составления моделей с различным числом признаков

1- максимальная величина информативности признаков, %; 2- ошибка тестирования модели, %; 3- число признаков; 4- допустимая ошибка, %; 5,6 – признаки с максимальной информативностью: 5- сложные; 6- простые (x_6 - относительная плотность линеаментов северо-восточного простирания, x_9 - глубина до кровли титона, x_{13} - уровень титонского водоносного подгоризонта, x_{17} - концентрация CO_2 в подземных водах титонского водоносного подгоризонта).

Наиболее эффективной по числу признаков и по величине ошибки тестирования оказалась модель, состоящая из тектонических, геологических и гидрогеологических показателей (*плотность линеаментов северо-восточного простирания, глубина до кровли титона, абсолютная отметка уровня титонского водоносного подгоризонта, концентрация углекислоты в подземных водах титонского водоносного подгоризонта*). Ошибка тестирования составила 22 % при пороге информативности сложных признаков 67%.

На базе этих показателей была сформирована матрица T, и проведено распознавание. По результатам распознавания в пределах прогнозной части территории величина минерализации подземных вод титонского водоносного подгоризонта была отнесена к интервалу ранжирования «менее 3 г/л», что соответствует данным, полученным в процессе разведки и эксплуатации Березовского участка Кисловодского месторождения.

Пространственная информационная модель месторождений минеральных вод типа «Ессентуки»

Для реализации прогнозной задачи и выделения поисковых признаков на углекислые минеральные воды типа «Ессентуки» была составлена пространственная информационная модель Ессентукского месторождения углекислых минеральных вод. Изучаемая территория была поделена на «обучающую», «тестовую» и «прогнозную» части. Граница «обучающей» и «тестовой» частей проведена по главному направлению изменчивости геологической среды – с юго-запада на северо-восток (рис.7). В обучающую и тестовую части вошли Центральный, Винсадский участки и участок скважин 1-КМВ-БИС, в прогнозную часть - Новоблагодарненский участок Ессентукского месторождения.

В качестве выходных показателей (Y) использованы минерализация и содержание свободной углекислоты в подземных водах эльбурганского водоносного горизонта.

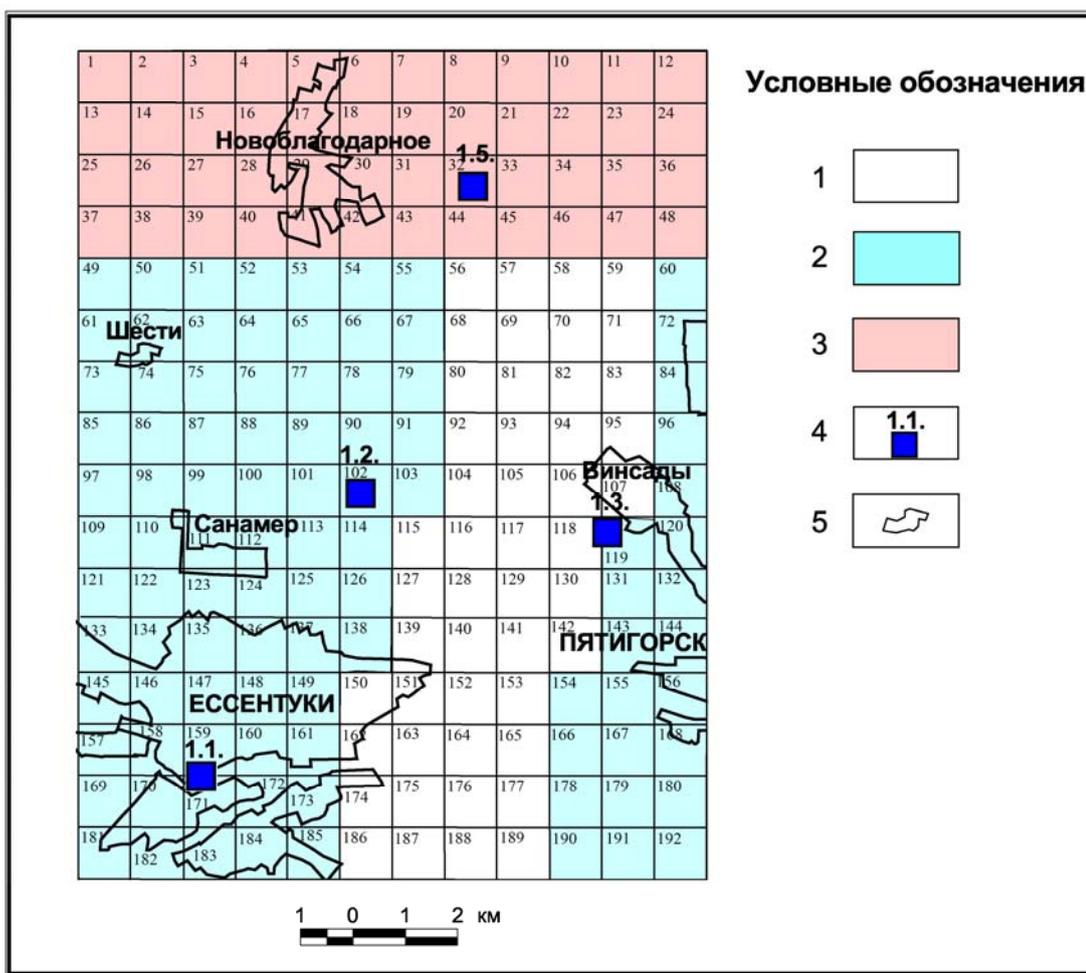


Рис.7. Схема пространственной информационной модели месторождений углекислых минеральных вод типа «Ессентуки»

1 - тестовая часть территории; 2- обучающая часть территории; 3- прогнозная часть территории; 4 – участки Ессентукского месторождения (1.1.- Центральный, 1.2.-1-КМВ-БИС, 1.3.- Винадский, 1.5. Новоблагодарненский); 5 – контур населенных пунктов.

Результаты информационного моделирования по выходному признаку «концентрация углекислоты в подземных водах эльбурганского водоносного горизонта»

Была рассчитана информативность показателей x_i по отношению к концентрации углекислоты в подземных водах эльбурганского водоносного горизонта. С целью выделения поисковых признаков были составлены модели с участием различного числа наиболее информативных показателей из разных групп. Результаты расчетов приведены на рисунке 8.

Наиболее эффективной по числу признаков и по величине ошибки тестирования оказалась модель, состоящая из геологических, гидрогеологических и тектонических показателей (*абсолютная отметка кровли фундамента, абсолютная отметка уровня апт-альбского водоносного горизонта, зоны концентраций левосдвиговых деформаций, плотность всех линеаментов*). Ошибка тестирования составила 16 % при пороге информативности сложных признаков 45%.

На базе этих показателей была сформирована матрица T, и проведено распознавание в прогнозной части территории. По результатам распознавания была построена прогнозная карта (рис.9), на которой была выделена зона с концентрацией углекислоты в диапазоне от 0,5 г/л до 1,5 г/л, что соответствует данным, полученным в процессе разведки и эксплуатации Новоблагодарненского участка Ессентукского месторождения.

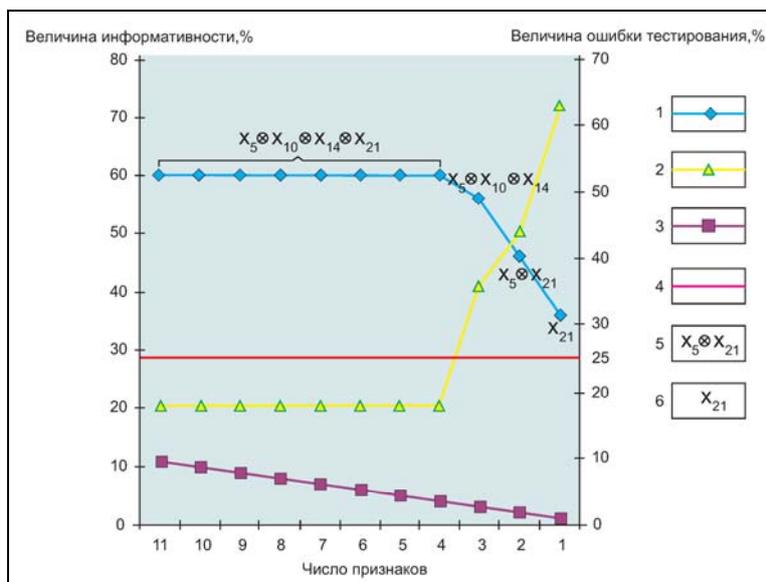


Рис.8. Результаты составления моделей с различным числом признаков

1- максимальная величина информативности признаков, %; 2- ошибка тестирования модели, %; 3- число признаков; 4- допустимая ошибка, %; 5,6 – признаки с максимальной информативностью: 5- сложные; 6- простые (x_5 - относительная плотность всех линеаментов, x_{10} - зоны левосдвиговых деформаций, x_{14} - а.о. кровли фундамента, x_{21} - а.о. уровня апт-альбского водоносного горизонта).

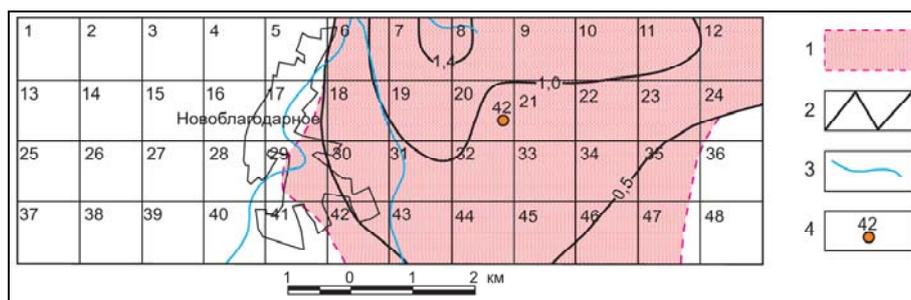


Рис.9. Результат распознавания по признаку «Концентрация углекислоты в подземных водах эльбурганского водоносного горизонта»

1 – прогнозные области развития подземных вод с концентрацией углекислоты от 0,5 до 1,5 г/л; 2- фактические изолинии концентрации углекислоты, г/л; 3- гидрографическая сеть; 4-скважины.

Результаты информационного моделирования по выходному признаку «величина минерализации подземных вод эльбурганского водоносного горизонта»

Была рассчитана информативность показателей x_i по отношению к величине минерализации подземных вод эльбурганского водоносного горизонта. С целью выделения поисковых признаков были составлены модели с участием различного числа наиболее информативных показателей из разных групп. Результаты расчетов приведены на рисунке 10.

Наиболее эффективная по числу признаков и по величине ошибки тестирования оказалась модель, состоящая из гидрогеологических и тектонических показателей (разломы осадочного чехла, области высокой плотности линеаментов северного и северо-восточного простирания, абсолютная отметка уровня верхнемелового водоносного горизонта, минерализация подземных вод верхнемелового водоносного горизонта). Ошибка тестирования составила 16 % при пороге информативности сложных признаков 40%.

На базе этих показателей была сформирована матрица T, и проведено распознавание в прогнозной части территории. По результатам распознавания была построена прогнозная

карта (рис.11), на которой была скорректирована рисовка изолиний минерализации подземных вод эльбурганского водоносного горизонта в пределах Новоблагодарненского участка Ессентукского месторождения. Также в северо-западной части территории была выделена область развития подземных вод с минерализацией более 10 г/л.

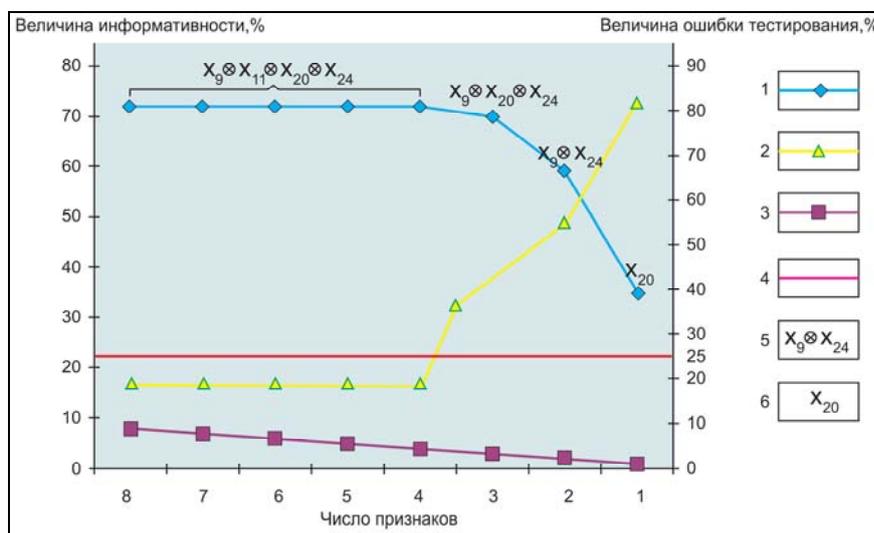


Рис.10. Результаты составления моделей с различным числом признаков

1- максимальная величина информативности признаков, %; 2- ошибка тестирования модели, %; 3- число признаков; 4- допустимая ошибка, %; 5,6 – признаки с максимальной информативностью: 5- сложные; 6- простые (X_9 - области высокой плотности линейментов северного и северо-западного простираения, X_{11} - разломы осадочного чехла, X_{20} - а.о. уровня верхнемелового водоносного горизонта, X_{24} - минерализация подземных вод верхнемелового водоносного горизонта).

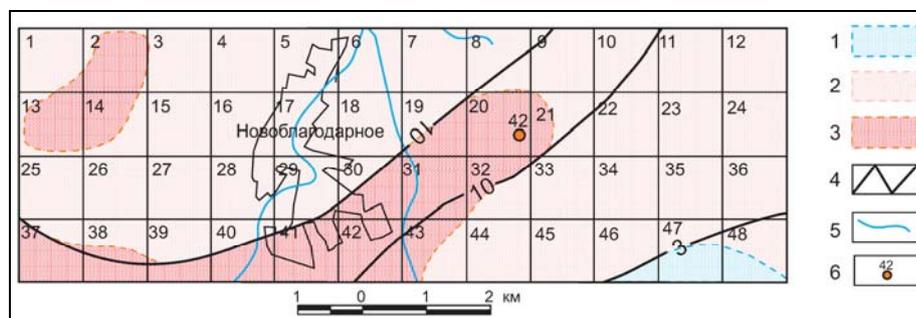


Рис.11. Результат распознавания по признаку «Величина минерализации подземных вод эльбурганского водоносного горизонта»

1,2,3 – прогнозные области развития подземных вод эльбурганского водоносного горизонта с различной величиной минерализации: 1- область с минерализацией менее 3 г/л, 2- область с минерализацией 3-10 г/л, 3- область с минерализацией более 10 г/л; 4- фактические изолинии минерализации подземных вод эльбурганского водоносного горизонта, г/л; 5- гидрографическая сеть; 6- скважины.

В шестой главе изложены представления автора об условиях формирования углекислых минеральных вод в пределах Кисловодского и Ессентукского месторождений, основанные на результатах анализа матриц взаимной информативности, полученных в процессе составления пространственных информационных моделей. Также были составлены матрицы взаимной информативности по признакам, невошедшим в прогнозные модели, отражающим химический состав подземных вод и спонтанных газов. Кроме этого, для уточнения условий формирования подземных вод в районе Ессентукского месторождения были проведены информационные расчеты, и составлены матрицы взаимной информативности по выходным признакам величина минерализации и

концентрация углекислоты в подземных водах титано-валанжинского водоносного горизонта.

Кисловодское месторождение

По результатам анализа матриц взаимной информативности по признакам: относительная плотность линеаментов северо-восточного простирания, абсолютные отметки рельефа и глубина до кровли титона, был сделан вывод, что вероятным источником поступления углекислоты в титонский водоносный подгоризонт являются разломы северо-восточного простирания в кристаллическом фундаменте.

Сопоставление результатов анализа матриц взаимной информативности по признакам элементарные ландшафты и разность уровней титаноского водоносного подгоризонта и готерив-барремского водоносного горизонта показало, что на изучаемой территории в пределах склонов долин и водораздельных пространств существует инверсия вертикального распределения напоров. Обусловленные этим нисходящие инфильтрационные потоки создают эффект «пресса» на породы фундамента, барражируя тем самым восходящие водно-газовые потоки. На участках, где отмечается аллювиальный тип ландшафта, создаются условия для беспрепятственной инжекции и пространственной миграции углекислого флюида в отложениях титона.

Анализ матриц взаимной информативности по выходному признаку «минерализация подземных вод титаноского водоносного подгоризонта» показал, что в формировании химического состава подземных вод важную роль играет процесс растворения водовмещающих пород. Атмосферные воды по мере движения по титаноскому водоносному подгоризонту от областей питания, взаимодействуя с сульфат содержащими породами (гипсом), меняют свой состав на гидрокарбонатно-сульфатный и сульфатный. Для этих вод характерны невысокие значения общей минерализации до 5 г/л. С погружением титаноского водоносного подгоризонта минерализация подземных вод возрастает до 5 г/л и выше за счет увеличения концентрации гидрокарбонат иона. Анализ матрицы взаимной информативности по признаку относительная плотность линеаментов северо-восточного простирания показал, что воды с низкой минерализацией (менее 3 г/л) приурочены к участкам, где плотность разломов выше средней. Вероятно, это связано с влиянием разломов фундамента, создающим условия для увеличения проводимости вод, движущихся из областей питания. Также к участкам с плотностью разломов северо-восточного простирания приурочены воды с минерализацией более 3 г/л гидрокарбонатно-сульфатного и сульфатно-гидрокарбонатного состава. Вероятно, это объясняется влиянием углекислоты, мигрирующей из пород фундамента и активизирующей процесс углекислотного выщелачивания карбонатных пород. Высокая информационная связь величины минерализации и концентрации углекислоты в подземных водах титаноского водоносного подгоризонта с абсолютными отметками уровня подземных вод титаноского водоносного подгоризонта объясняется влиянием эксплуатации на участках Кисловодского месторождения углекислых минеральных вод, что характеризует условия, как сильно нарушенные.

Ессентукское месторождение

По результатам сопоставительного анализа матриц взаимной информативности по признакам относительная плотность линеаментов северо-восточного простирания, разломы фундамента и результатов дешифрирования КФС был сделан вывод, что вероятным источником поступления углекислоты в титано-валанжинский водоносный горизонт является крупный разлом фундамента северо-восточного простирания. При анализе матрицы взаимной информативности по признаку абсолютные отметки кровли фундамента было установлено, что участки с высоким значением концентрации

углекислоты приурочены к относительно приподнятым участкам фундамента, что подтверждает глубинное происхождение углекислоты в подземных водах титано-валанжинского водоносного горизонта. Под действием латерального пластового движения подземные воды титано-валанжина, обогащенные на вышеописанных участках углекислотой, устремляются в северо-восточном направлении, образуя вытянутые в плане ореолы растекания от области внедрения углекислоты. Водно-углекислый поток достигает участков, где плотность всех линеаментов выше средней, и частично разгружается в вышележащий готеривско-барремский и далее в апт-альбский водоносные горизонты. За счет довольно большой мощности и высоких фильтрационных параметров в апт-альбском водоносном горизонте отсутствуют условия для накопления естественных запасов свободной углекислоты. Вероятно, по этой причине воды апт-альбского водоносного горизонта характеризуются наличием фоновых концентраций углекислоты.

Далее минеральные воды с концентрацией углекислоты выше фоновых значений (более 0,5 г/л) появляются в верхнемеловом и эльбурганском водоносных горизонтах.

Природа подобной гидрогеологической ситуации и в настоящее время является дискуссионной. Так, применительно к Ессентукскому месторождению за 200 летний период его изучения, были сформулированы три основные гипотезы происхождения углекислоты. В процессе настоящих исследований автором были получены результаты, которые подтверждают теорию глубинного происхождения углекислоты в подземных водах эльбурганского водоносного горизонта. Анализ матриц взаимной информативности показал, что толщи титано-валанжина, апт-альба, верхнего мела и нижнего палеоцена взаимосвязаны. Подземные воды эльбурганского водоносного горизонта с высокими значениями концентрации углекислоты в основном приурочены к Кисловодско-Кумагорской левосидговой области. Эта структура связана с наиболее мощными зонами трещино-жильной проницаемости, секущими всю толщу, что обуславливает сквозную субвертикальную проницаемость всего мезо-кайнозойского разреза. Вероятно, что поступление углекислоты в подземные воды эльбурганского водоносного горизонта происходит на участках, где относительная плотность всех линеаментов выше средней. Также отмечается прямая связь между концентрацией углекислоты в подземных водах титано-валанжинского и эльбурганского водоносных горизонтов. Подтверждением теории глубинного происхождения углекислоты служит довольно высокая информационная связь выходного показателя и признака относительная плотность линеаментов северо-восточного простирания, который отражает особенности тектонического строения фундамента.

Помимо вопросов, связанных с условиями насыщения подземных вод углекислотой, в работе были рассмотрены условия формирования вод с различной минерализацией.

Анализ матриц взаимной информативности по выходному показателю «минерализация подземных вод титано-валанжинского водоносного горизонта» подтверждает, что в формировании химического состава подземных вод титано-валанжинского водоносного горизонта важную роль играет процесс смешения. Атмосферные воды по мере движения по титано-валанжинскому водоносному горизонту от областей питания, вследствие взаимодействия с сульфат содержащими породами (гипсом), меняют свой состав с гидрокарбонатного на гидрокарбонатно-сульфатный и сульфатный. Для этих вод характерны невысокие значения общей минерализации и присутствие атмосферного азота. По мере движения вод в северо-восточном направлении, происходит смешение инфильтрогенных вод с древними водами хлоридного состава. Также большое значение на формирование химического состава вод титано-валанжинского водоносного горизонта оказывает процесс углекислотного выщелачивания водовмещающих карбонатных пород, вследствие чего, в подземных водах отмечается рост

общей минерализации за счет насыщения гидрокарбонат-ионом. Вероятно, процесс углекислотного выщелачивания происходит в интервалах минерализации подземных вод 5-10 г/л.

Анализ матриц взаимной информативности по выходному признаку минерализация подземных вод эльбурганского водоносного горизонта показал, что существует прямая связь вод эльбургана с подземными водами верхнемелового и титано-валанжинского водоносных горизонтов. В центральной части изучаемой территории, на участках с высокой проницаемостью отложений нижнего плиоцена, обусловленной в основном высокой плотностью линеаментов северного простирания, происходит подток подземных вод верхнего мела, обогащенных гидрокарбонат-ионом, в процессе углекислотного выщелачивания водовмещающих карбонатных пород. Также вертикальная взаимосвязь происходит и по разрывным нарушениям прочих простираний и по узлам разломов за пределами центральной части рассматриваемой территории. Вероятно, что процесс углекислотного выщелачивания идет и в самом эльбурганском водоносном горизонте, на что указывает соответствие участков развития хлоридно-гидрокарбонатных вод участкам с присутствием спонтанного углекислого газа и метана. Общая «метанизация» подземных вод объясняется, по-видимому, тем, что в результате эксплуатации эльбурганского и верхнемелового водоносных горизонтов сформировалась значительная депрессия уровня поверхности, что привело к подтягиванию с северо-востока вод, обогащенных метаном. Сам же метан, вероятно, связан с интрузивными телами, окаймляющими изучаемую территорию с северо-востока. Также на изменение химического состава подземных вод эльбурганского водоносного горизонта значительное влияние оказывает процесс смешения инфильтрационных и древних морских вод в процессе латерального пластового движения от областей питания. В результате чего, формируются воды гидрокарбонатно-хлоридного состава с широким диапазоном изменения минерализаций. Анализ матриц информативности показал, что процесс смешения интенсивнее идет в областях с высокой относительной плотностью линеаментов северо-западного простирания.

В заключении приводятся основные результаты работ, которые сводятся к следующему:

1. Усовершенствована и адаптирована методика информационного анализа для целей изучения месторождений углекислых минеральных вод региона КМВ;

2. На основе адаптированной методики были составлены пространственные информационные модели месторождений минеральных вод типа «Нарзан» и «Ессентуки»:

2.1. Были выделены поисковые признаки на минеральные воды типа «Нарзан» и «Ессентуки»;

2.2. На базе выделенных поисковых признаков были сформированы матрицы Т, и проведено распознавание в пределах прогнозных участков территорий. По результатам распознавания были построены прогнозные карты, на которых выделены области развития подземных вод с различной минерализацией и концентрацией углекислоты. Прогнозные значения соответствуют данным, полученным в процессе разведки и эксплуатации рассмотренных участков, что говорит о возможности использования построенных пространственных информационных моделей для поиска новых месторождений минеральных вод Кисловодского и Ессентукского типов.

3. На основе информационного анализа были уточнены основные закономерности формирования углекислых минеральных вод Кисловодского и Ессентукского месторождений. Также результаты информационного моделирования подтвердили гипотезу глубинного генезиса углекислоты.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Опыт разработки системных моделей для оценки качества подземных вод. (Соавтор А.Б. Лисенков)// Гидрогеология, инженерная геология и гидрогеоэкология: Материалы конференции посвящённой 75-летию ГИГЭ Томского политехнического университета. Томск: Изд-во НТЛ, 2005, С. 151-155.

2. Опыт разработки системных моделей для оценки качества подземных вод // Тезисы докладов научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодые - наукам о Земле». РГГРУ. М.: 2006. – С. 107.

3. Метод косвенной оценки качества подземных вод на основе анализа ландшафтной и геоэкологической информации. (Соавтор А.Б. Лисенков)// Геология и разведка. М.:2006 №6. – С. 29-32.

4. Пространственная гидрогеохимическая модель Кисловодской группы месторождений углекислых минеральных вод. (Соавтор А.Б. Лисенков)// Гидрогеология в начале 21 века: материалы международной конференции. Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). Новочеркасск: 2006. – С. 88-91.

5. Методология организации поисков месторождений углекислых минеральных вод на территории Северо-Кавказского региона. (Соавторы А.Б. Лисенков, Е.В. Попов, Р.В. Грушин)// Разведка и охрана недр. М.: 2007 №2-3. – С. 84-87.

6. Пространственная гидрогеохимическая модель Ессентукской группы месторождений углекислых минеральных вод. // Материалы межвузовской научной

конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодые - наукам о Земле». РГГРУ. М.: 2008. – С. 101.

7. Новая технология поисков месторождений углекислых минеральных вод в областях альпийской складчатости. (Соавтор А.Б. Лисенков)// Тезисы докладов международного симпозиума: Будущее гидрогеологии: современные тенденции и перспективы. Спб.: 2007.- С. 94-95.

8. Прогнозирование зон повышенной минерализации подземных вод и участков скопления углекислоты на Ессентукском месторождении минеральных вод. (Соавторы А.Б. Лисенков, Е.В. Попов, Р.В. Грушин)// Разведка и охрана недр. М.: 2008 №.10 – С. 55-59.

9. Методика прогнозирования зон повышенной минерализации подземных вод и участков скопления углекислоты на территории Ессентукского месторождения минеральных вод. // Тезисы докладов научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодые – наукам о Земле». РГГРУ. М.: 2010. – С. 139.

Примечание: жирным шрифтом выделены публикации в изданиях, входящих в перечень ВАК.