

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тюменский индустриальный университет»

На правах рукописи

Ицкович Марина Владимировна



**ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ  
ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЮРСКИХ И МЕЛОВЫХ  
ОТЛОЖЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО  
МЕГАБАССЕЙНА**

Специальность 25.00.07 - Гидрогеология

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук,  
профессор  
Плавник А.Г.

Тюмень – 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение .....</b>	<b>4</b>
<b>Глава 1. Состояние изученности и гидрогеологические условия района .....</b>	<b>10</b>
1.1 Изученность территории .....	10
1.2 Гидрогеологические условия .....	14
1.2.1 Гидрогеологическая стратификация .....	15
1.2.2 Основные закономерности химического состава подземных вод.....	20
1.2.3 Гидрохимическая зональность подземных вод.....	27
1.3 Тектонические условия.....	31
1.4 Геодинамическое районирование.....	33
<b>Глава 2. Методы исследований .....</b>	<b>36</b>
2.1 Картирование гидрогеохимической информации .....	36
2.2 Построение гидрогеохимических разрезов с учетом структурно-литологического строения отложений.....	38
2.3 Районирование подземных вод по химическому составу с применением метода кластеризации .....	40
2.4 Оценка флюидодинамической взаимосвязи водоносных горизонтов по морфологическим особенностям.....	43
2.5 Квазитрехмерное моделирование гидрохимического поля.....	46
<b>Глава 3 Пространственные закономерности гидрогеохимических условий района .....</b>	<b>55</b>
3.1 Оценка качества гидрохимической информации .....	55
3.2 Латеральные закономерности изменения гидрогеохимических условий.....	58
3.2.1 Общая характеристика гидрогеохимических свойств подземных вод.....	59
3.2.2 Картирование параметров химического состава подземных вод.....	62
3.3 Изменение гидрохимических свойств по разрезу отложений.....	70
3.4 Квазитрехмерная гидрогеохимическая модель района.....	77
3.4.1 Результаты моделирования гидрогеохимических условий.....	78
3.4.2 Картирование гидрохимических данных на основе результатов квазитрехмерной модели.....	85

3.4.3 Сравнение методов построения гидрогеохимических разрезов.....	86
<b>Глава 4 Вопросы формирования состава подземных вод.....</b>	<b>90</b>
4.1 Влияние условий седиментации на формирование химического состава подземных вод.....	91
4.2 Сопоставление морфологических особенностей структурных планов с экстремальными показателями химического состава подземных вод.....	96
4.3 Результаты районирования подземных вод по химическому составу .....	99
4.4 Влияние тектонических условий на химический состав подземных вод .....	105
4.4.1 Закономерности изменения химического состава подземных вод по отношению к расположению Колтогорско-Толькинской шовной зоны...	106
4.4.2 Сопоставление карт основных компонентов химического состава подземных вод с результатами геодинамического районирования .....	108
4.4.3 Проявление геодинамического фактора в химическом составе подземных вод по разрезу отложений .....	113
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>122</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>124</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А. Итоги квазитрехмерного моделирования в виде серии разрезов .....</b>	<b>135</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Результаты картирования гидрогеохимических показателей по данным расчета трехмерной модели .....</b>	<b>150</b>

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность проблемы.** За более чем полувековой период интенсивного освоения глубоких водоносных горизонтов Западно-Сибирского мегабассейна, накоплен обширный объем гидрогеологической информации. Большое количество анализируемых гидрохимических показателей, сложность оценки качества имеющихся данных, неравномерность в распределении информации, как в плане, так и по разрезу отложений, сложное тектоническое строение территории и другие факторы определяют трудности при пространственной интерпретации гидрогеологических условий.

К настоящему времени с развитием компьютерных технологий появляется возможность анализа больших объемов различной информации, разрабатываются методы пространственного анализа данных, таких как картирование, моделирование, а так же методы, направленные на совместный анализ с особенностями условий формирования и современного строения вмещающих отложений.

Однако использование имеющихся программных средств, при пространственном анализе данных гидрогеологических параметров, осложняется не только значительной неравномерностью изученности подземных вод, фрагментарностью данных, невысокой их достоверностью, но и необходимостью учета структурно-литологического строения отложений, их анизотропии и влияния геотектонических факторов на состав подземных вод. Эти факторы определяют имеющиеся проблемы в формировании целостной системы представлений об условиях генезиса химического состава подземных вод глубоких горизонтов.

Данными условиями определяется актуальность разработки автоматизированных методов выявления пространственных закономерностей гидрогеохимических условий глубоких горизонтов Западно-Сибирского мегабассейна и количественной оценки влияния отдельных факторов на условия формирования состава подземных вод.



**Степень разработанности проблемы.** Изучением гидрогеологических условий глубоких горизонтов Западно-Сибирского бассейна в разное время занимались М. С. Гуревич, О. В. Равдоникас, Н. М. Кругликов, Н.А.Ростовцев, Н.И. Толстихин, В.А.Нуднер, М.Я. Рудкевич, Л.С.Озеранская, В.В. Нелюбин, Н.И. Обидин, А.А. Розин, Б.П. Ставицкий, О.Н. Яковлев, А.А. Карцев, С.Б. Вагин, А.Р. Курчиков, А.Э. Конторович, В.М. Матусевич, С.Л. Шварцев, Ю.К. Смоленцев, В.М. Швец, А.Г. Плавник, М.Б. Букаты, Д.А. Новиков и другие.

Перечисленными исследователями были обобщены материалы данных гидрогеологических условий территории, определены основные подходы к изучению и анализу информации, обозначены главные факторы, определяющие условия формирования химического состава подземных вод. В пределах Западно-Сибирского бассейна за последние годы выполнены построения структурных карт основных горизонтов, гидрохимические карты подземных вод апт-альб-сеноманского, неокомского и юрского комплексов, проведено районирование химического состава вод и выделены основные типы вертикальной зональности, а так же построены тектонические карты и карты геодинамического районирования.

**Объектом исследования** являются подземные воды нижнего гидрогеологического этажа в пределах центральной части Западно-Сибирского бассейна.

**Цель работы.** Установить основные пространственные закономерности изменения химического состава подземных вод и выявить факторы, влияющие на условия формирования основных компонентов химического состава подземных вод, с применением современных средств обработки и анализа данных.

**Задачи исследования:**

1. Выполнить анализ гидрогеохимических условий с помощью построения карт изменения минерализации и содержания основных компонентов химического состава подземных вод глубоких отложений и гидрогеохимических разрезов, выполненных с учетом структурно-литологического строения отложений.
2. Разработать метод расчета и выполнить построение квазитрехмерной модели

гидрогеохимических условий рассматриваемой территории.

3. Оценить взаимосвязь пространственных закономерностей гидрогеохимического режима глубоких горизонтов с условиями формирования химического состава подземных вод.

**Фактический материал и методы исследования.** В основу данной работы положены фондовые материалы гидрогеохимических опробований состава подземных вод Западно-Сибирского бассейна, собранные и систематизированные организациями НИИГИГ и ЗСФ ИННГГ СО РАН за период с 1940 г. по сегодняшний день.

Изучение гидрогеохимических условий подземных вод нижних водоносных горизонтов проводилась по макро- и микрокомпонентному составу подземных вод. Большой объем гидрохимической информации и множественность атрибутивных показателей определяет необходимость активного использования современных программных продуктов как на стадии хранения, пополнения информации, так и при анализе данных. В процессе работы активно использовались программные комплексы: Microsoft Excel, Access, Statistica 10, GST 6.9.2, ArcMap 9.3, Easy Trace Pro 7.99, CorelDRAW 13.

**Личный вклад** автора заключался в систематизации и анализе данных гидрогеохимических опробований; в векторизации геологической информации; построении карт гидрогеохимических параметров; создании системы хранения и использования, как исходных данных, так и выполненных построений (проектов GST). При использовании программного комплекса GST автором осуществлено построение гидрогеохимических разрезов с учетом структурно-литологического строения отложений. Автор принимал участие в разработке и реализации метода построения квазитрехмерной модели гидрохимического поля рассматриваемой территории с использованием условно-двумерных (радиальных) гидрогеохимических разрезов.

В диссертации используются результаты работ, полученные в соавторстве с А.Р. Курчиковым, А.Г. Плавником, Б.П. Ставицким, А.Н. Сидоровым.

**Научная новизна.** В результате проведенного анализа гидрогеохимической

информации глубоких горизонтов Западно-Сибирского бассейна выполнен систематизированный анализ пространственных закономерностей химического состава, построены карты и разрезы на основе рассчитанной квазитрехмерной модели гидрохимических условий.

На основе проведенных исследований выделены преобладающие факторы, влияющие на условия формирования отдельных компонентов химического состава подземных вод.

**Достоверность полученных результатов** обоснована использованием большого объема исходных данных гидрохимических опробований подземных вод глубоких горизонтов за продолжительный период и использованием при анализе данных апробированных методов исследования.

#### **Защищаемые положения.**

1. Метод построения согласованной квазитрехмерной модели химического состава подземных вод глубоких отложений, основанный на автоматизированном расчете условно-двумерных профилей распределения гидрогеохимических показателей по глубине и обеспечивающий оценку надежности картирования.

2. Квазитрехмерная модель, отражающая пространственные закономерности изменения гидрогеохимических условий мезозойских отложений центральной части Западно-Сибирского мегабассейна, в виде серии согласованных между собой карт минерализации и содержания отдельных компонентов по свитам или подсвитам, а также разрезов субширотного и субмеридионального направлений.

3. Пространственные закономерности изменения минерализации подземных вод контролируются неотектоническими условиями развития рассматриваемой части бассейна, а содержание компонентов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$   $\text{HCO}_3^-$  и микрокомпонентов  $\text{I}^-$ ,  $\text{Br}^-$  и  $\text{B}^-$  преимущественно определяются условиями седиментации и постседиментационными преобразованиями отложений.

**Практическая значимость.** Пространственные закономерности гидрогеохимических условий глубоких горизонтов Западно-Сибирского бассейна в первую очередь могут использоваться для обоснования проведения геологоразведочных работ, при интерпретации данных геофизических

исследований, в оценке запасов подземных вод и др.

Материалы диссертации использовались в отчетных работах по договорам ГП «НАЦРН» им. Шпильмана, ООО «ТНК-Уват», ООО «Газпром геологоразведка», по научным проектам ИНГГ СО РАН и гранту РФФИ № 15-05-01982 А.

**Апробация и внедрение результатов.** Основные результаты исследований докладывались на международных и всероссийских научно-практических конференциях: «Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна» (г. Тюмень, 2004г.), «Пути реализации нефтегазового потенциала Ханты-Мансийского автономного округа» (г. Ханты-Мансийск, 2007г., 2013г.), «XIX совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока» (г. Тюмень, 2009 г.), «80 лет ГИГЭ ТПУ» (г. Томск, 2011 г.), «Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна» (г. Тюмень, 2011 г.), «Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна (опыт, инновации)» (г. Тюмень, 2012 г.), «Современное состояние, тенденции и перспективы развития гидрогеологии и инженерной геологии» (г. Санкт-Петербург, 2017 г.).

**Публикации по теме диссертации:** по теме диссертации опубликовано 24 работы, в журналах, входящих в список Высшей Аттестационной Комиссии, издано семь статей.

**Объем и структура работы.** Диссертационная работа содержит 155 страниц печатного текста, состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы включающего 94 наименования. Работа иллюстрирована 39 рисунками, содержит 7 таблиц и включает два приложения.

**Благодарности.** Диссертационная работа выполнена в лаборатории геологии нефти и газа Западно-Сибирского филиала института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук. Автор глубоко благодарен директору филиала, член-корреспонденту РАН, доктору геолого-минералогических наук А.Р. Курчикову за научную и организационную поддержку.

Глубокую признательность хочется выразить В.М. Матусевичу и Б.П. Ставицкому, тематика исследований, многолетние работы и советы которых определили основную направленность научной работы.

Особую благодарность автор выражает научному руководителю – доктору технических наук А.Г. Плавнику, за помощь и постоянную поддержку при написании работы, а также за ценные советы, которые помогли сформулировать и оценить необходимость проведения данных исследований.

Искреннюю благодарность автор выражает О.С. Мартынову, советы, консультации и совместная работа по линеаментному анализу, с которым оказала большое влияние при работе над диссертацией.

За неоценимую помощь и содействие на разных этапах исследований автор искренне благодарен Н.Ю. Галкиной, К.М. Погарцеву, Д.А. Курчикову, В.В. Шкабура, М.В. Кузнецовой и В.П. Астафьеву, а также своей семье, за оказанную моральную поддержку на протяжении всей работы.

# ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА

## 1.1 Изученность территории

Вопросам изучения гидрогеохимических условий глубоких горизонтов Западно-Сибирского бассейна на всех этапах его освоения уделялось большое внимание. Изучение подземных вод глубоких горизонтов началось с бурения первой роторной скважины вскрывшей мезозойские отложения бассейна в 1935 г. Для водоснабжения крупных станций и поселков в течение последующих 14 лет были пробурены несколько десятков глубоких скважин (до 1500 м), на основе результатов которых выполнен ряд первых исследований, по изучению гидрогеологических условий нижних горизонтов Западной Сибири.

Первоначально основной объем проводимых исследований был сконцентрирован в южной части Западно-Сибирского бассейна, далее работы продвигались все дальше на запад, в центральные части Широкого Приобья и северные районы мегабассейна. Одной из первых работ описывающих Западно-Сибирскую низменность как громадный артезианский бассейн, была работа М. С. Гуревича (1952г), в ней приводятся первые основные закономерности изменения состава подземных вод и газов по площади и разрезу южной половины бассейна [7].

Подземные воды глубоких горизонтов западных районов изучались Н.И.Платоновой, Н.С. Румянцевой, В. С. Сергеевым, А.Ф. Ушлановым, которыми по комплексу гидрохимических показателей выделены наиболее интересные в нефтегазопроисхождении районы. По Тюменскому Зауралью обобщение гидрогеологических материалов проводила О.В.Равдоникас, в ее работах подробно охарактеризованы подземные воды и газы меловых и юрских отложений, освещены вопросы их динамики и сделаны выводы о перспективах нефтегазоносности. Гидрогеологические условия северо-западной части низменности в основном по материалам Березовского газоносного района

изучались Н. М. Кругликовым [30].

В 1958 г. в монографии под редакцией Н.Н. Ростовцева «Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности Западно-Сибирской низменности», проанализированы гидрогеологические условия изученной на данный момент времени части бассейна и выделен ряд показателей нефтегазоносности [74].

Гидрогеологические условия подземных вод палеозойских отложений впервые освещены в работах В.Б. Торговановой (1960 г.), на наиболее изученной юго-западной части Западно-Сибирского артезианского бассейна [86].

Наиболее интенсивное изучение гидрогеохимических условий нижних водоносных горизонтов Западной Сибири началось с 60-х годов прошлого века, с началом освоения нефтегазового потенциала. В период с 1960 по 1990 гг. выполнено наибольшее число гидрохимических опробований на территории бассейна и проведено значительное количество исследований посвященных изучению закономерностей гидрогеохимических условий, палеогеографических обстановок, геотермических и гидродинамических условий и др.

Первые обобщающие описания подземных вод в связи с нефтегазоносностью в пределах отдельных горизонтов Западно-Сибирского артезианского бассейна приводятся во второй части Геологии СССР том 44 (1964г.), где так же составлены гидрогеологические карты (ачимовской толщи и ипатовской свиты) южной части Западно-Сибирской низменности (Ставицкий Б.П., Егоров С. В. 1962 г.) [8].

Крупной многоплановой работой, в которой подведены итоги гидрогеологических исследований в Западной Сибири на конец 60 годов, стала монография «Гидрогеология СССР» (Западно-Сибирская равнина т.16), вышедшая в свет в 1970 г. В ней В.В. Нелюбиным, Н.И. Обидиным, А.А.Розиним и Б.П. Ставицким, дано подробное описание подземных вод мезозойских отложений бассейна, как единой крупной гидрогеологической структуры со своими гидродинамическими и газогидрохимическими особенностями. Впервые также была разработана схема пластовой гидрогеологической зональности с выделением трех зон: краевой, внешней и внутренней. В приложениях

приводится региональный схематический гидрогеологический разрез (выполненный в 1965г.), характеризующий гидрогеологические условия глубоких горизонтов, используемый гидрогеологами до сих пор [10].

С началом быстрого развития нефтегазовой промышленности (с 70-х годов) выделяется новое направление в гидрогеологии бассейна – нефтегазопромысловое, поэтому наибольший интерес был привлечен к вопросам связи с нефтегазоносностью.

В 1976 году В.М. Матусевичем обобщены данные исследования геохимии глубоких подземных вод для всей территории Западной Сибири, включающие большой комплекс микроэлементов и органических веществ результаты исследований представлены в монографии «Геохимия подземных вод Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна» [44].

В работе А.А. Розина «Подземные воды Западно-Сибирского артезианского бассейна» (1977г.), приведено гидрогеологическое районирование бассейна, даны основные гипотезы формирования подземных вод с учетом имеющихся данных и особая роль в формировании состава вод отведена вертикальной миграции глубинных растворов и газов [73].

В монографии Н.М. Кругликова, В.В. Нелюбина, О.Н. Яковлева (1985г.) «Гидрогеология Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна и особенности формирования залежей углеводородов» приводится обобщение материалов по гидрогеологии бассейна, гидродинамике, гидрохимии, газогидрохимии и гидрогеотермии, а так же освещены вопросы связи гидрогеологических условий с нефтегазоносностью [31].

Карты газогидрохимической зональности в пределах Западно-Сибирского бассейна приводятся в работе «Нефтегазоносные комплексы Западно-Сибирского бассейна» (1988г.) выполнены М.Я. Рудкевич, Л.С.Озеранской, Н. Ф. Чистяковой и др., здесь же описано строение бассейна по новым геолого-геофизическим данным и обоснована модель нефтегазогеологического районирования [75].

С 90-х годов прошлого века началось активное создание баз данных на основе накопленного фактического материала, стали разрабатываться и



использоваться средства автоматизации статистических методов расчета, визуализации данных и автоматизированного построения гидрогеологических карт.

В 2004 г. в работе Б.П. Ставицкого, А.Р. Курчикова и А.Г. Плавника собран и систематизирован материал гидрогеохимических данных опробований подземных вод в пределах Ханты-Мансийского автономного округа и выполнено построение региональных карт изменения минерализации подземных вод и содержания основных компонентов химического состава [82].

В.А. Бешенцевым (2006 г.) систематизирован и обобщен материал гидрогеологических исследований подземных вод на территории Ямало-Ненецкого административного округа, выполнены построения содержаний отдельных компонентов химического состава и минерализации подземных вод [3].

Работы В.М. Матусевича и др. за 2008 - 2010 гг. посвящены теоретическим вопросам формирования водных растворов нефтегазоносных областей, гидрогеологическим условиям миграции, аккумуляции, сохранения и разрушения залежей углеводородов, анализу микрокомпонентного состава подземных вод и содержанию органических веществ, а так же проблемам нефтепоисковой и нефтепромысловой гидрогеологии [47, 48, 50].

В период с 2004 г. по 2010 г. в работах Б.П. Ставицкого, А.Р.Курчикова, А.Э. Конторовича, А.Г. Плавника выполнен комплекс исследований по изучению гидрогеологических условий Западно-Сибирского бассейна. В результате приведены карты изменения минерализации и основных параметров химического состава подземных вод глубоких водоносных комплексов Западно-Сибирского бассейна, выполнено районирование и типизация подземных вод глубоких горизонтов. Эти работы являются самым крупным обобщением гидрогеологических данных за последние годы [62, 64, 79-81].

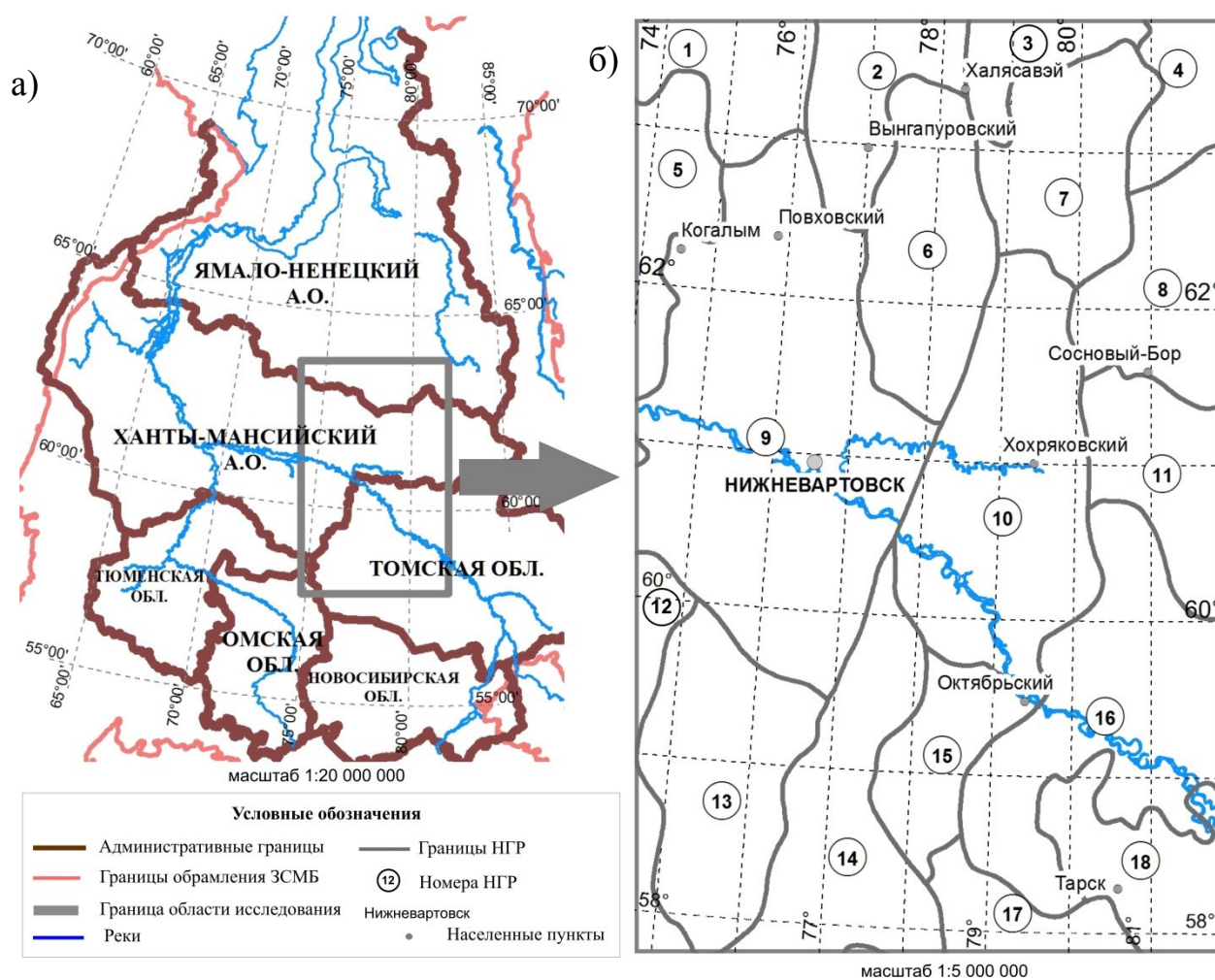
Изучению гидрогеологических особенностей Западно-Сибирского бассейна и отдельных его областей, посвящены работы М. С. Гуревича, Н.И.Платоновой, Н. С. Румянцевой, В. С. Сергеева, А. Ф. Ушланова, О.В.Равдоникас,

Н. М. Кругликова, Н. А. Ростовцева, Н.И. Толстихина, В.Б.Торговановой, М.Я. Рудкевича, Л.С. Озеранской, В.В. Нелюбина, Н.И.Обидина, А.А. Розина, Б.П. Ставицкого, О.Н. Яковлева, А.А. Карцева, С.Б. Вагина, А.Р. Курчикова, А.Э. Конторовича, В.М. Матусевича, С.Л.Шварцева, Ю.К. Смоленцева, С.Р. Крайнова, В.М. Швеца, А.Г.Плавника, М.Б. Букаты, Д.А. Новикова, Л.А. Ковяткиной и других [4, 7, 9, 16, 18, 22, 29, 30, 31, 34, 36-50, 52, 53, 55, 60, 66, 73, 74, 77, 79-84, 86, 89 и др.].

Несмотря на большой накопленный объем гидрогеологической информации, характеризующей химический состав подземных вод, территория Западно-Сибирского бассейна остается неравномерно изученной как по площади, так и по разрезу отложений. Основными методами анализа гидрогеохимических условий бассейна в проведенных исследованиях являются: стандартные классификации подземных вод (по содержанию основных макро- и микрокомпонентов, нормированных показателей, газовой составляющей), построение карт распространения гидрогеохимических параметров, статистический анализ, анализ форм миграции элементов в природных водах и др.

## **1.2 Гидрогеологические условия**

Область исследований расположена в центральной части Западно-Сибирского бассейна, которая занимает территорию около 280 тыс. км<sup>2</sup>. В административном отношении включает восточную часть Ханты-Мансийского округа, северо-западную часть Томской области и на севере захватывает юг Ямало-Ненецкого округа (рисунок 1а). В соответствии с нефтегазоносным районированием Западно-Сибирского мегабассейна изучаемая область полностью или частично включает 18 нефтегазоносных районов (НГР, рисунок 1б).



**Рисунок 1 - Обзорная карта**

(номера НГР: 1 - Ноябрьский, 2 - Вынгапуровский, 3 - Харампурский, 4 - Толькинский, 5 - Сургутский, 6 - Варьеганский, 7 - Бахилевский, 8 - Сабунский, 9 - Вартовский, 10 - Александровский, 11 - Пыль-Караминский, 12 - Юганский, 13 - Каймысовский, 14 - Нюрольско-Колтогорский, 15 - Среднеवासюганский, 16 - Усть-Тымский, 17 - Пудинский, 18 - Парабельский)

Рассматриваемый в диссертационной работе район характеризуется сложными тектоническими условиями, центральную часть территории занимает Колтогорско-Толькинская шовная зона, протягивающаяся в центральной части с севера на юг, которая является унаследованной структурой Колтогорско-Уренгойского рифта и, соответственно, одной из наиболее характерных областей проявления мощных тектонических движений.

### 1.2.1 Гидрогеологическая стратификация

Изучению гидрогеологической стратификации Западно-Сибирского бассейна и отдельных его частей посвящены работы М.С. Гуревича,

Б.Ф. Маврицкого, О.В.Равдоникас, Н.М. Кругликова, Н.Н. Ростовцева, В.А. Нуднера, А.А. Розина, В.В. Нелюбина, А.А. Карцева, Ю.К. Смоленцева, Б.П. Ставицкого, В.М. Матусевича, Л.С. Шварцева, Н.Ф. Чистяковой и других [9, 10, 16, 47, 48, 50, 88, 90 и др.].

Одна из наиболее подробных гидрогеологических стратификаций приведена в Гидрогеологии СССР т.16 под редакцией В.А. Нуднера в 1970 г. Где в вертикальном разрезе Западно-Сибирского бассейна выделены два гидрогеологических этажа: верхний и нижний, разделенные мощной толщей глин олигоцен-туронской трансгрессии. Верхний этаж составляют два гидрогеологических комплекса: 1) олигоцен-четвертичных и 2) турон-олигоценных отложений. Нижний этаж включает: 3) апт-альб-сеноманский, 4) неокомский и 5) юрский гидрогеологические комплексы.

В пределах Западно-Сибирского мегабассейна выделяются три самостоятельных наложенных друг на друга бассейна: кайнозойский, мезозойский и палеозойский [47, 48, 50], которые в свою очередь состоят из семи гидрогеологических комплексов. Кайнозойский бассейн включает комплексы: олигоцен-четвертичных и турон-олигоценных отложений, мезозойский бассейн состоит из: апт-альб-сеноманского, валанжин-готтерив-барремского (неокомского), верхне-юрского и нижне-среднеюрского комплексов, в палеозойский бассейн входят триас-палеозойские отложения.

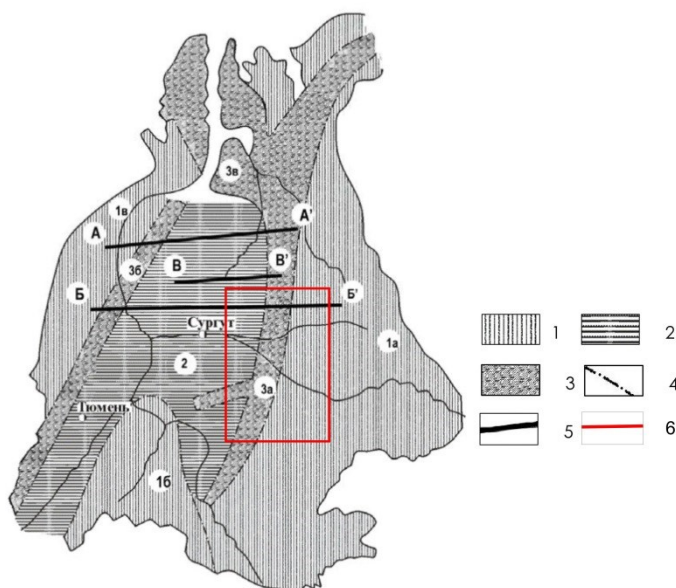
В диссертационной работе гидрогеологические условия глубоких горизонтов исследуемой области наиболее подробно рассматриваются в пределах мезозойского бассейна, с выделением в нем апт-альб-сеноманского, неокомского и юрского гидрогеологических комплексов.

**Кайнозойский бассейн** включает в себя водоносный комплекс олигоцен-турунового возраста преимущественно морских и прибрежно-морских отложений, большая часть которого является водоупором. И комплекс олигоцен-четвертичных отложений представлен чередованием проницаемых и водоупорных пластов, невыдержанных по простиранию и мощности, характеризуется интенсивным и замедленным водообменом.

Бассейн надежно изолирован от нижележащего мезозойского бассейна глинами турон-олигоценевого возраста мощностью до 650-800 м.

**Мезозойский бассейн** характеризуется затрудненным и застойным водообменом, сложен преимущественно породами песчано-алевритового состава разделенными выдержанными аргиллито-глинистыми водоупорами.

Согласно работам В.М.Матусевича западная часть рассматриваемой в работе области, приурочена к западному мегаблоку и характеризуется элизионной литостатической системой (рисунок 2), формирование которой произошло в процессе прогибания и накопления глинистых отложений существенной мощности. Зона характеризуется повышенным напором подземных вод. Восточная часть рассматриваемой территории приурочена к инфильтрационной системе восточного мегаблока (рисунок 2), характеризуется относительной приподнятостью и близостью к областям денудации, как следствие накоплению большей частью песчаного материала. Преобладающие напоры подземных вод близки к гидростатическим.



**Рисунок 2 - Водонапорные системы и мегаблоки мезозойского бассейна Западной Сибири**  
(Матусевич В.М., 2010)

1- инфильтрационные системы мегаблоков (1а - восточного, 1б - юго-западного, 1в — приуральского); 2 - элизионная литостатическая система западного мегаблока; 3 - элизионные геодинамические системы (3а - Омско- Гыданской структурной зоны, 3б - Восточно-Уральского краевого шва, 3в - Ямало- Гыданских линейных элементов); 4 - границы водонапорных систем; 5 - линии гидрогеологических профилей А-А', Б-Б', В-В'; 6 - граница исследуемой области.

**Апт-альб-сеноманский гидрогеологический комплекс** развит повсеместно и представлен осадками покурской свиты. Общая мощность комплекса достигает 800 – 850 м. Водовмещающие отложения комплекса представлены песками, песчаниками и алевролитами с прослоями глин.

Песчаники характеризуются высокой пористостью (12-42 %) и проницаемостью (до 12000 мД). Воды высоконапорные, скважины повсеместно переливают, избыточное давление на их устье составляет 1-7 атм. Дебиты скважин варьируют в широких пределах, но в среднем величины составляют 100-800 м<sup>3</sup>/сут. Пластовые воды комплекса широко используются при законтурном и внутриконтурном заводнении в нефтеносные пласты, поскольку он является самым водообильным.

Комплекс сложен отложениями покурской свиты состоящей из трех подсвит: верхней, средней и нижней. *Отложения верхней подсвиты* характеризуется уплотненными песками, песчаниками, алевролитами (алевролитами) серыми, реже зеленовато-буровато-серыми, иногда известковистыми, чередующимися с прослоями глин.

*Средняя подсвита* представляет собой чередование глин серых до темно-серых, от алевроитовых до тонкоотмученных, с уплотненными песками, песчаниками и алевролитами серыми, реже буровато-зеленовато-серыми.

*Нижняя подсвита* сложена песчаниками, алевролитами серыми, грязно-серыми, переслаивающимися с глинами серыми, темно-серыми, иногда углистыми.

**Неокомский гидрогеологический комплекс** на рассматриваемой территории развит повсеместно и представлен осадками баррема, готерива и валанжина. Водовмещающие породы представлены переслаиванием песчаников, алевролитов и глин. Мощность комплекса изменяется от 600 м до 1500 м. Открытая пористость обводненных песчаников комплекса составляет 24-27%, проницаемость – 900 - 1100 мД. Скважины, вскрывающие отложения неокомского комплекса вне пределов разрабатываемых месторождений, фонтанируют. На участках разрабатываемых месторождений за счет сформировавшихся воронок

депрессии в скважинах устанавливается пониженный уровень воды. Дебиты скважин при самоизливе по величине уступают таковым для вышележащего комплекса и составляют чаще всего несколько сотен кубометров в сутки, достигая в отдельных случаях 2-3 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

Комплекс сформирован отложениями алымской, вартовской и мегионской свит. Алымская свита состоит преимущественно из серых и темно-серых алевроитовых глин, с редкими прослоями алевролитов и песчаников. Верхняя часть *вартвской свиты* представлена переслаиванием песчаников и алевролитов светло-серых и зеленовато-серых с зеленовато-серыми глинами. В нижних частях отмечается чередование пачек песчаников, реже алевролитов и аргиллитоподобных глин. *Мегионская свита* сложена чередованием глинистых, песчано-глинистых толщ и пачек.

**Юрский гидрогеологический комплекс** в пределах рассматриваемой области развит повсеместно и представлен верхне-, средне- и нижнеюрскими осадками. Основными отложениями комплекса являются песчано-алевритистые породы, алевролиты, песчаники, гравилиты, с прослоями глин и аргиллитов. Общей мощностью до 1000 м. Гидрогеологический комплекс характеризуется низкими фильтрационными свойствами. Открытая пористость песчаников составляет 8 – 12 %, удельные дебиты в пределах 0,005 - 0,01 л/сек, пьезометрические уровни в большинстве скважин устанавливаются ниже дневной поверхности.

Комплекс включает отложения баженовской, георгиевской, васюганской, тюменской и котухтинской свит. Отложения *баженовской* и *георгиевской* свит представлены от темно-серых до почти черных плотных аргиллитоподобных глин и битуминозных аргиллитов.

*Васюганская свита* характеризуется песчано-алевритовыми и глинистыми отложениями. Верхняя ее часть преимущественно представляет собой переслаивание песчаников, алевролитов и аргиллитоподобных глин. А нижняя часть сложена глинами аргиллитоподобными, темно-серыми, с прослоями песчано-алевритового материала.

*Тюменская свита* представлена неравномерным чередованием глин серых аргиллитоподобных, уплотненных, песчаников и крепкосцементированных алевролитов.

*Котухтинская свита* в верхней части представлена преимущественно глинистыми отложениями (радомская и тогурская подсвиты), в нижней части сложена песчано-глинистыми отложениями. Отложения свиты заполняют пониженные участки фундамента, поэтому их мощность очень изменчива, вплоть до полного отсутствия в южной части территории.

**Палеозойский водоносный бассейн** характеризуется очень слабой изученностью, представлен преимущественно трещинно-жильными и трещинно-карстовыми разностями, формирование которых происходило в результате процессов выветривания, карстообразования и последующих тектонических напряжений. В рассматриваемой области бассейн представлен сочленением двух мегаблоков земной коры разделенных системой глубинных разломов - Уренгойско-Колтогорским грабен-рифтом (Омско - Гыданская структурная зона), западный блок характеризуется активным геодинамическим режимом, а восточный пассивным режимом. Влияние тектонических блоков фундамента просматривается и в вышележащем мезозойском гидрогеологическом бассейне [48-49].

### *1.2.2 Основные закономерности химического состава подземных вод*

Пространственные закономерности изменения химического состава подземных вод глубоких горизонтов рассматриваемой области, приводятся по результатам работ Б.П. Ставицкого, А.Р. Курчикова, А.Э.Конторовича, А.Г. Плавника за 2004 - 2010 гг. [79-82], где обобщены данные по гидрогеохимии подземных вод глубоких отложений бассейна.

Изучение гидрохимического поля выполнено в пределах крупных водоносных комплексов: апт-сеноманского, неокомского и юрского. При анализе гидрогеохимических условий были использованы данные более 15 тыс.



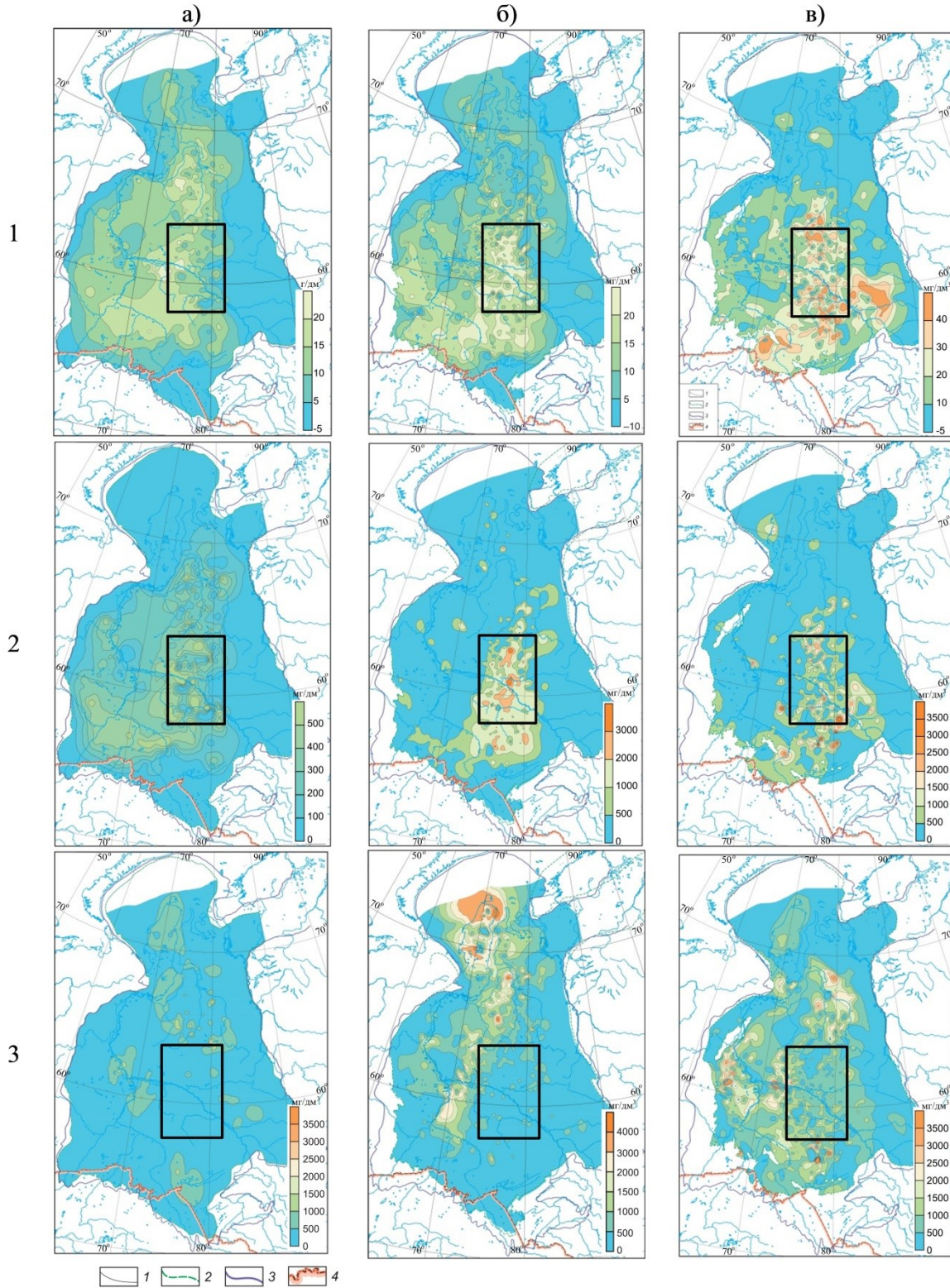
анализов, из них около 10 % опробования подземных вод апт-альб-сеноманского комплекса, 57% - из неокомских отложений и 33% - из юрских [83].

На рисунке 3 представлены региональные схематические карты изменения минерализации подземных вод, содержания в них кальция и гидрокарбоната в водах апт-сеноманского, неокомского и юрского водоносных комплексов, с обозначением на них области исследования.

Минерализация подземных вод апт-альб-сеноманского комплекса уменьшается с запада на восток от 15-20 г/дм<sup>3</sup> в западной части, до менее 5 г/дм<sup>3</sup> вдоль восточной границы территории (рисунок 3.1а). Достаточно обширная область в центральной части и на юго-западе неокомских отложений характеризуется повышенной (более 20 г/дм<sup>3</sup>) минерализацией подземных вод (рисунок 3.1б). Уменьшение значений параметра минерализации отмечается на западе и северо-западе до 12-20 г/дм<sup>3</sup> и значительно снижается (до менее 5 г/дм<sup>3</sup>) на северо-востоке области. Подземные воды юрских отложений рассматриваемой территории представлены значительными колебаниями значений минерализации от 10-20 г/дм<sup>3</sup> до 30-40 г/дм<sup>3</sup>, в южной и северной частях отмечаются зоны с минерализацией вод более 40 г/дм<sup>3</sup> (рисунок 3.1в). В целом по юрскому комплексу можно отметить уменьшение величины минерализации к западной и восточной границам (до 10 г/дм<sup>3</sup>).

Содержание кальция в подземных водах рассматриваемых отложений имеет тенденции аналогичные изменению минерализации подземных вод (рисунок 3.2). Но можно отметить приуроченность зон с более высокими концентрациями кальция к области Уренгойского-Колтогорского грабен-рифта.

По содержанию гидрокарбоната в подземных водах отмечается его увеличение с глубиной, так в апт-альб-сеноманском комплексе величина гидрокарбоната практически на всей территории не превышает 500 мг/дм<sup>3</sup> (рисунок 3.3а). В водах неокомских отложений основной фон значений менее 500 мг/дм<sup>3</sup>, с увеличением до 1000 мг/дм<sup>3</sup> на отдельных локальных участках и в северо-западной части территории.



**Рисунок 3 - Схематические карты минерализации (1) подземных вод, содержания кальция (2) и гидрокарбоната (3) в подземных водах (Б.П. Ставицкий, А.Р. Курчиков, А.Э. Конторович, А.Г. Плавник, 2004г.)**

(по комплексам: а – апт-альб-сеноманский, б – неокомский, в – юрский  
 1 – линии равных значений минерализации, границы: 2 – распространения комплекса, 3 – Западно-Сибирского мегабассейна, 4 – Российской Федерации)

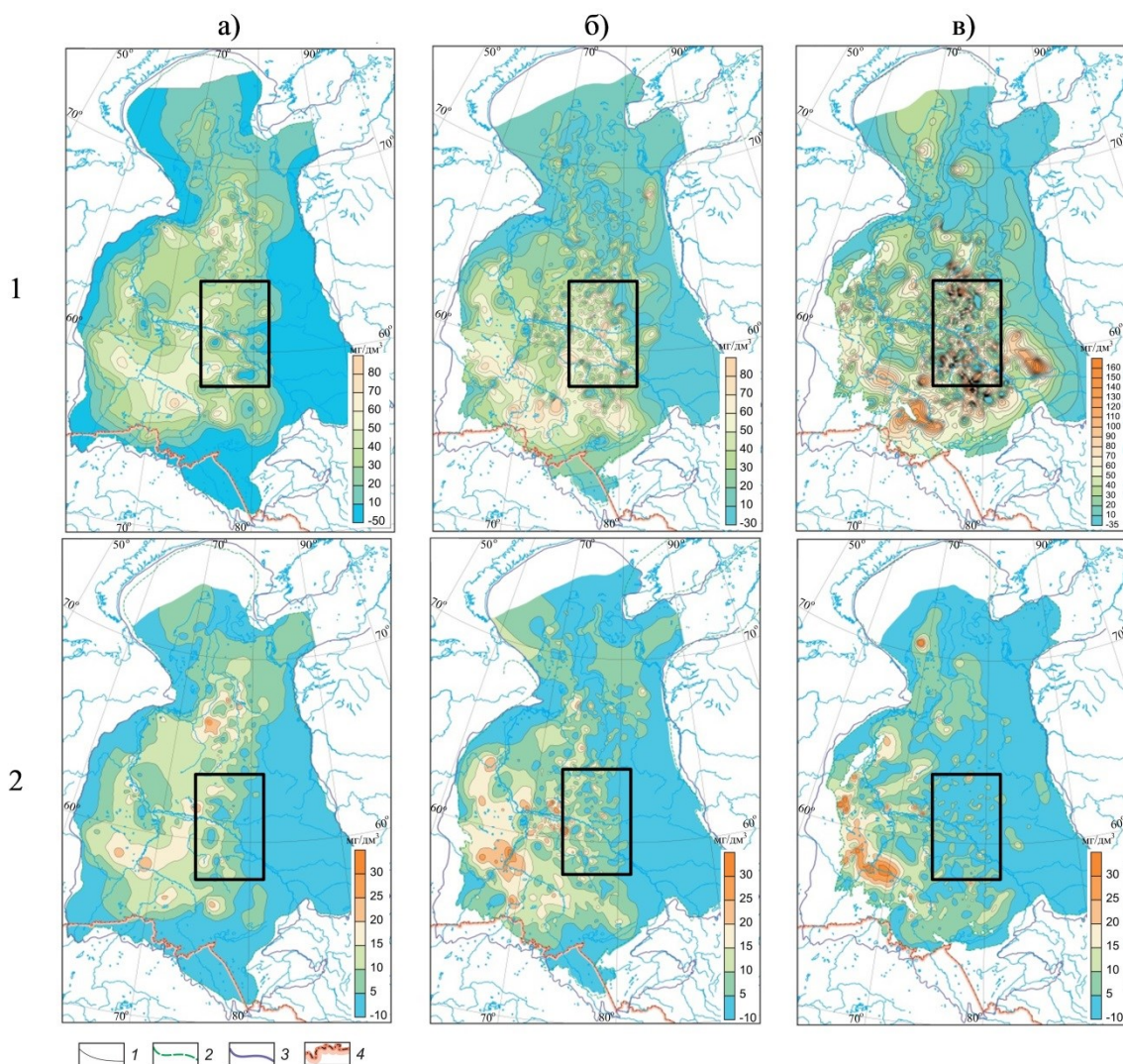
Наибольшие значения содержания гидрокарбоната отмечаются в подземных водах юрских отложений. Где большая часть территории охарактеризована значениями в пределах – 500-1000 мг/дм<sup>3</sup>, при этом в северной области концентрация менее 500 мг/дм<sup>3</sup>, а в западной и юго-западной частях отмечается увеличение до 1500 мг/дм<sup>3</sup> (рисунок 3.3в).

Изменение содержания микрокомпонентов йода и брома в подземных водах рассматриваемых комплексов приведено на рисунке 4. В целом изменение концентрации брома в подземных водах комплексов согласуется с изменением минерализации вод. В отложениях апт-альб-сеноманского комплекса количество брома увеличивается с востока (менее 10 мг/дм<sup>3</sup>) на запад территории (50-60 мг/дм<sup>3</sup>), в центральной части преобладают концентрации брома около 20-30 мг/дм<sup>3</sup> и отмечаются локальные участки с более низкими и высокими значениями (рисунок 4.1а). Преобладающие концентрации брома в водах неокомских отложениях составляют 40-60 мг/дм<sup>3</sup>, уменьшение показателя наблюдается в северо-восточном направлении до менее 10 мг/дм<sup>3</sup>.

В юрском комплексе отмечается существенная неоднородность изменения содержания брома, с повышенными концентрациями (более 100 мг/дм<sup>3</sup>) в северной и южной частях территории и участками с содержанием брома менее 10 мг/дм<sup>3</sup> в отдельных зонах центральной области.

Подземные воды апт-альб-сеноманского и неокомского комплекса имеют достаточно схожее изменение содержания йода, в западной части района отмечаются наибольшие концентрации (до 15-20 мг/дм<sup>3</sup>) с уменьшением значений до менее 5 мг/дм<sup>3</sup> вдоль восточной границы территории (рисунок 4.2 а,б). Воды юрского комплекса характеризуются малыми концентрациями йода до 5 мг/дм<sup>3</sup> с редкими локальными участками до 10 мг/дм<sup>3</sup> (рисунок 4.2 в).





**Рисунок 4 - Схематическая карта содержания брома (1) и йода (2) в подземных водах (Б.П. Ставицкий, А.Р. Курчиков, А.Э. Конторович, А.Г. Плавник, 2004г.)**

(условные обозначения см. рисунок 3)

Осредненная характеристика содержания основных компонентов химического состава подземных вод, их относительных значений (отношение к хлору) и отдельных микрокомпонентов в пределах нефтегазоносных районов (НГР) Западной Сибири приведена в работе Б.П. Ставицкого, А.Р.Курчикова, А.Э. Конторовича, А.Г. Плавника [83]. В таблице 1 приведены средние значения показателей по нефтегазоносным районам, полностью попадающим в изучаемую область (рисунок 1).

По представленным данным можно отметить существенную неравномерность изученности гидрохимического состава подземных вод по площади и разрезу отложений. Воды апт-альб-сеноманского комплекса

охарактеризованы наименьшим количеством данных гидрохимических опробований (менее 8%) и только в пределах Бахилковского и Александровского НГР их количество увеличивается до 15% и 20% соответственно. В пределах Варьеганского и Вартовского НГР наиболее изучены воды неокомских отложений (около 60%). На территории Бахилковского, Александровского и Средне-Васюганского НГР преобладают анализы химического состава вод из отложений юрского комплекса (более 50%).

Подземные воды рассматриваемых нефтегазоносных районов имеют значительные колебания значений минерализации, по средним значениям минерализации подземных вод отмечается увеличение показателя с глубиной в пределах отдельных НГР.

Данные комплексов имеют достаточно близкие значения, за исключением нормированного кальция, который в апт-альб-сеноманском и юрском комплексах изменяются в пределах 3-7, а в неокомском достигает значений 9-15. Нормированный натрий имеет разброс значений от 0,48 до 0,63; величина отношения хлора к минерализации изменяется в пределах 0,57-0,6; нормированный магний 0,27-1,34; гидрокарбонат 1,7-8,96 (таблица 1). Средние значения нормированного йода в подземных водах территории изменяются от 0,25 до 1,32, с максимальными значениями в апт-альб-сеноманском комплексе. Нормированный бром варьирует от 3,53 до 5,77, бор составляет в среднем 0,37-1,18.

**Таблица 1 - Средние значения параметров химического состава подземных вод по нефтегазоносным районам (Б.П. Ставицкий, А.Р. Курчиков, А.Э. Конторович, А.Г. Плавник, 2006 г.)**

НГР	Возраст	Кол-во проб	Интервал минерализации	M, г/дм <sup>3</sup>	Катионы:								Анионы:						Микрокомпоненты							
					Na		K		Ca		Mg		Cl		HCO <sub>3</sub>		SO <sub>4</sub>		CO <sub>3</sub>		I		Br		B	
					мг/дм <sup>3</sup>	н-Na	мг/дм <sup>3</sup>	н-K	мг/дм <sup>3</sup>	н-Ca	мг/дм <sup>3</sup>	н-Mg	мг/дм <sup>3</sup>		мг/дм <sup>3</sup>	н-HCO <sub>3</sub>	мг/дм <sup>3</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	н-I	мг/дм <sup>3</sup>	н-Br	мг/дм <sup>3</sup>	н-B	
Варьеганский	K <sub>1</sub> ap - K <sub>2</sub> cm	34	5.5-24.9	14.2	5027.1	0.60	43.59	0.62	359.06	4.41	65.43	0.75	8349.0	0.584	365.9	4.97	7.30	2.25	7.23	0.92	33.37	4.21	7.12	0.87		
	K <sub>1</sub> nc	243	4.3-38.5	20.7	6257.2	0.51	77.68	0.62	1577.46	12.32	35.42	0.31	12438.7	0.599	272.1	2.91	5.23	1.79	7.04	0.61	50.96	4.07	10.57	0.89		
	J	138	5.5-55.3	29.9	10197.7	0.59	173.30	1.00	1057.09	5.52	108.34	0.57	17707.2	0.584	632.0	5.22	3.05	1.64	3.66	0.25	64.05	3.53	6.66	0.45		
Вартовский	K <sub>1</sub> ap - K <sub>2</sub> cm	149	9.3-29.3	17.4	6009.9	0.58	43.78	0.42	534.62	5.13	107.33	1.06	10494.4	0.603	182.9	1.78	0.41	3.23	10.24	1.01	46.64	4.58	10.37	0.99		
	K <sub>1</sub> nc	1186	1.6-44.3	19.0	6153.0	0.55	80.70	0.77	1058.51	9.03	38.83	0.36	11340.9	0.596	313.1	3.12	8.90	2.83	9.86	0.92	49.81	4.43	12.60	1.16		
	J	680	2.6-51.2	23.6	8275.6	0.61	135.19	1.18	629.40	4.34	93.86	0.65	13768.4	0.574	741.6	7.41	13.47	7.64	5.31	0.44	53.20	3.89	8.42	0.74		
Каймысовский	K <sub>1</sub> ap - K <sub>2</sub> cm	2	15.2-16.2	15.7	5673.5	0.60			339.62	3.52	66.35	0.69	9420.4	0.600	210.5	2.23	0.21		12.40	1.32	53.91	5.77	10.76	1.14		
	K <sub>1</sub> nc	81	10.2-25.0	18.9	5567.7	0.49	48.50	0.52	1630.95	14.19	45.66	0.42	11450.2	0.607	222.9	1.96	7.67	0.00	10.72	0.95	52.84	4.60	13.68	1.17		
	J	108	6.9-48.2	30.5	10848.1	0.61	36.50	0.92	750.32	4.18	134.19	0.71	18047.8	0.585	816.1	5.18	5.71	0.88	4.74	0.26	73.01	3.93	12.14	0.69		
Бахилловский	K <sub>1</sub> ap - K <sub>2</sub> cm	44	2.3-15.5	8.6	3030.8	0.63	39.03	0.76	171.05	3.20	28.29	0.58	4883.3	0.562	374.6	8.96	4.33	2.21	2.79	0.68	18.80	4.08	2.54	0.65		
	K <sub>1</sub> nc	75	6.7-28.9	18.0	5614.5	0.53	66.78	0.66	1232.20	11.00	27.84	0.27	10771.5	0.597	249.8	2.56	11.18	1.36	5.02	0.47	42.20	3.91	6.62	0.61		
	J	178	4.7-51.8	22.9	7870.7	0.60	165.94	1.35	707.58	5.30	87.01	0.65	13310.9	0.576	703.2	6.14	7.20	1.59	3.60	0.30	47.78	3.59	7.83	0.66		
Александровский	K <sub>1</sub> ap - K <sub>2</sub> cm	66	5.3-20.8	8.2	2809.2	0.59	15.00	0.38	244.43	4.99	60.40	1.34	4798.0	0.584	274.8	6.21	5.96	1.01	4.21	0.70	33.21	5.48	4.29	0.73		
	K <sub>1</sub> nc	81	7.6-35.5	21.4	6399.2	0.49	107.50	0.66	1715.53	13.26	61.19	0.49	12984.6	0.607	206.3	1.71	10.75	0.43	7.24	0.57	51.62	4.01	6.88	0.55		
	J	163	5.3-67.2	26.4	8957.0	0.59	171.53	1.34	1016.12	6.23	99.95	0.60	15583.0	0.582	611.3	5.59	10.84	6.35	4.04	0.31	60.41	3.80	5.39	0.37		
Средне-Васюганский	K <sub>1</sub> ap - K <sub>2</sub> cm	6	10.8-19.0	15.0	4998.2	0.55			698.38	7.30	93.83	1.01	9125.0	0.609	153.5	1.78	7.41	0.00	8.69	0.96	41.99	4.64	5.74	0.66		
	K <sub>1</sub> nc	59	11.0-25.7	20.1	5864.7	0.49			1754.20	14.26	40.20	0.34	12112.8	0.602	278.7	2.39	6.35	0.00	8.56	0.71	54.01	4.49	14.46	1.18		
	J	71	5.1-70.3	37.5	13177.7	0.61			1094.23	4.63	140.39	0.61	22093.0	0.584	956.9	5.93	3.86	0.11	6.43	0.29	87.57	3.82	10.17	0.48		
Нюрольско-Колтогорский	K <sub>1</sub> ap - K <sub>2</sub> cm	12	5.7-21.4	15.1	4940.3	0.54			732.54	7.66	123.48	1.32	9166	0.604	182.6	2.42	9.16	0	9.05	0.99	44.94	4.89	5.71	0.64		
	K <sub>1</sub> nc	81	10.6-23.3	18.7	5485.7	0.48			1638.39	14.36	68.71	0.61	11353.6	0.606	247.5	2.34	8.38	0	9.78	0.87	51.59	4.55	9.63	0.87		
	J	73	10.7-62.5	27.2	9630	0.61			761.78	4.58	125.55	0.77	16042.4	0.585	848.5	6.69	20.35	3.34	5.08	0.34	66.71	4.09	8.66	0.54		

### *1.2.3 Гидрохимическая зональность подземных вод*

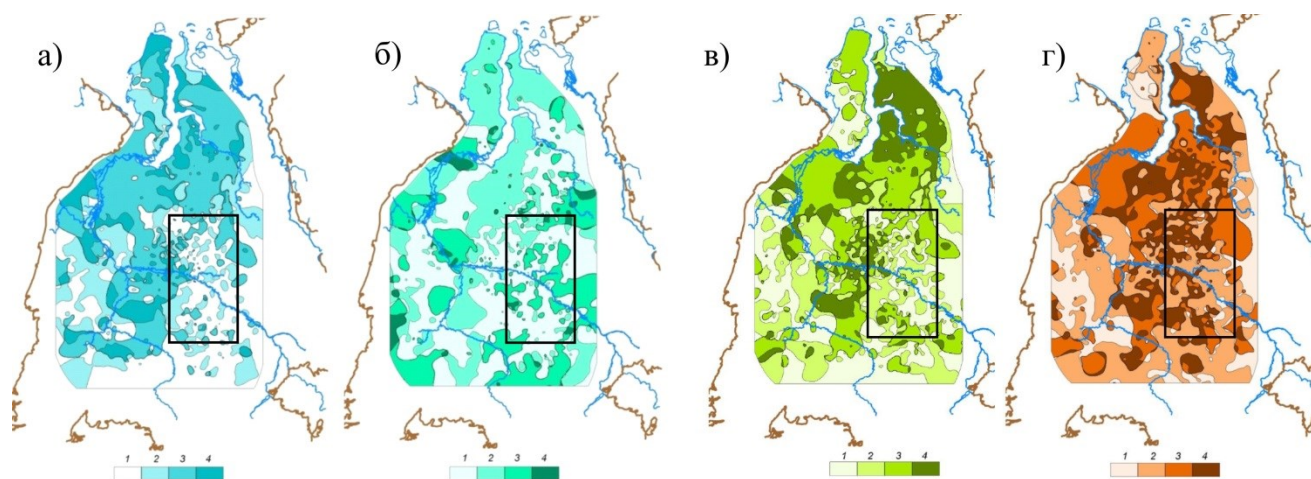
Вопросами гидрогеологической зональности подземных вод Западно-Сибирского бассейна занимались О.К. Ланге, А.Е. Гуревич, Н.К. Игнатович, А.А.Карцев, В.В. Нелюбин, И.А. Лагунова, В.Е. Силич, А.Э. Конторович, В.А.Нуднер, В.М. Матусевич, Ю.Г. Зимин, А.А. Розин и др. [10, 15,16, 18, 21, 44, 47-48, 77 и др.].

#### *Вертикальная зональность*

Как правило, описание закономерностей распределения зональностей в большей части работ приводится по отдельным характерным областям бассейна. Наиболее полное обобщение по имеющимся данным в пределах всего бассейна приведено в работе Б.П. Ставицкого и др. [80]. Авторы выделяют 4 типа обстановок: 1 - с нормальным типом разреза (параметр возрастает с глубиной), 2 - частично нормальный (параметр возрастает при переходе от апт-сеноманского к неокомскому горизонту и уменьшается в юрском), 3 - частично инверсионный (с минимумом значений в неокомском комплексе), 4 – инверсионный (уменьшение параметров с ростом глубины).

На рисунке 5 представлены карты изменения вертикальной зональности минерализации и отдельных компонентов химического состава подземных вод глубоких отложений Западно-Сибирского мегабассейна, (прямоугольником черного цвета выделен участок, рассматриваемый в данной работе).

Рассматриваемая в диссертационной работе область характеризуется изменчивостью типов вертикальной зональности по минерализации, содержанию гидрокарбонат иона, и микрокомпонентов брома и йода. Характер изменения вертикальной зональности по содержанию кальция здесь не приводится, поскольку рассматриваемая область практически полностью расположена в зоне с частично-нормальным типом разреза (с увеличением значений при переходе от апт-сеноманского к неокомскому комплексу и уменьшении их в юрском). Можно отметить наличие небольших зон с частично-инверсионным типом изменения содержания кальция с глубиной только в северной части.



**Рисунок 5 - Характер вертикальной зональности подземных вод  
(Б.П. Ставицкий, А.Р. Курчиков, А.Э. Конторович, А.Г. Плавник, 2006г.)**

*(а - по величине минерализации, б - по содержанию гидрокарбонат-иона, в - по содержанию брома, г - по содержанию йода; 1-4 – типы обстановок)*

Основным фоном вертикальной зональности минерализации подземных вод является нормальный тип зональности, на котором практически повсеместно отмечаются локальные участки частично-нормального и частично инверсионного гидрогеохимического разреза минерализации (рисунок 5а). Достаточно крупные области частично инверсионного распределения минерализации фиксируются в западной, северной частях и на северо-востоке области исследований. Инверсионный тип разреза представлен единичными небольшими участками в западной части района (рисунок 5а).

На рассматриваемой территории вертикальная зональность подземных вод по содержанию гидрокарбоната характеризуется меньшей изменчивостью. Преобладающим является нормальный тип разреза, но выделяются крупные зоны в центральной части, на севере и юге территории с частично инверсионным типом разреза (рисунок 5б). В северо-западной части района исследований отмечается наличие двух достаточно крупных зон с частично-нормальным типом разреза. Инверсионный тип разреза по гидрокарбонату фиксируется маленькими участками на севере, юго-востоке и западе территории.

В вертикальной зональности распределения в подземных водах брома, отмечаются закономерности аналогичные минерализации, это объясняется высокой согласованностью между параметрами [80]. Вертикальное распределение

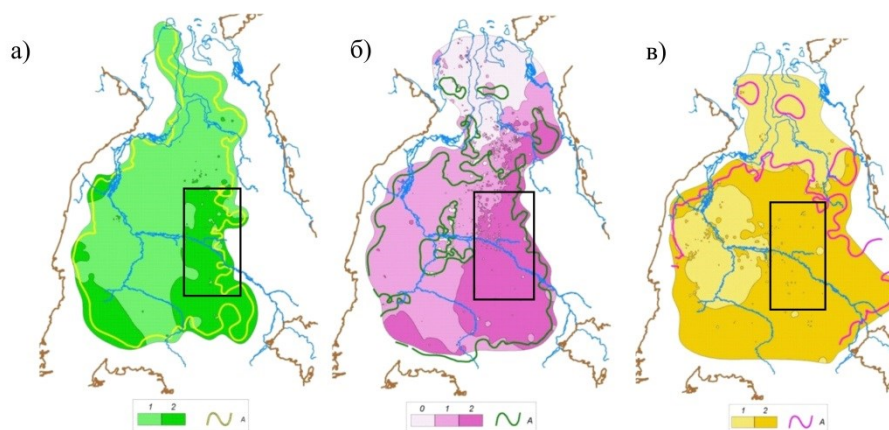


йода характеризуется преобладанием в западной части территории инверсионного типа разреза, а в восточной доминирует частично нормальная зональность (рисунок 5г). Области с частично-инверсионным типом изменения параметра с глубиной расположены локальными участками по рассматриваемому району и только на северо-востоке присутствует достаточно большая область этого типа (рисунок 5г).

### Ранговая характеристика зональности

Результатом проведенного Б.П. Ставицким и др. анализа гидрохимических данных совокупности средних показателей гидрохимических параметров по отдельным нефтегазоносным районам с использованием статистических методов (параметрический t-критерий Стьюдента) [80, 81] стало выделение достаточно крупных относительно близких по составу зон подземных вод.

Рассматриваемая в работе область, обозначенная на рисунке 6, по всем водоносным комплексам попадает в восточную зону, захватывающую Харампурский, Бахилловский, Варьеганский, Вартовский, Александровский, Демьянский, Пологрудовский, Нюрольско-Колтогорский, Каймысовский, Межовский, Пудинский, Усть-Тымский, Парабельский нефтегазоносные районы.



**Рисунок 6 - Ранговая характеристика зональности подземных вод (Б.П. Ставицкий, А.Р. Курчиков, А.Э. Конторович, А.Г. Плавник, 2006г.)**

(по комплексам: а – апт-альб-сеноманский, б – неокомский, в – юрский;  
А - региональная изолиния минерализации 10 г/дм<sup>3</sup>)

Данные характеризующие основные закономерности для восточной зоны представлены в таблице 2. Величина минерализации в рассматриваемой зоне

увеличивается вниз по разрезу от 15,7 г/дм<sup>3</sup> для вод апт-сеноманских отложений до 19,2 г/дм<sup>3</sup> – неокомских и 27,8 г/дм<sup>3</sup> – юрских. С ростом минерализации в подземных водах соответственно увеличивается содержание ионов натрия и хлора. Содержание кальция по средним значениям составляет от 466 мг/дм<sup>3</sup> до 1255 мг/дм<sup>3</sup>. Максимальное содержание кальция приурочено к неокомским отложениям с нормированным показателем кальция 10,6. В водах апт-сеноманских и юрских отложений концентрация снижается при близких величинах нормированного кальция 4,82 и 4,91 соответственно. По содержанию магния отмечается обратная зависимость, минимальная концентрация магния содержится в водах неокомских отложений (при н-Mg = 0,39), в выше и ниже расположенных комплексах его содержание значительно выше (н-Mg = 1,01 – 0.64 соответственно).

В рассматриваемой зоне повышенные концентрации гидрокарбонат-иона отмечаются лишь для вод юрских отложений 764 мг/дм<sup>3</sup> (нормированный гидрокарбонат равен 6,46), а в водах вышележащих комплексов концентрации значительно ниже в апт-альб-сеноманском комплексе составляют – 297 мг/дм<sup>3</sup>, в неокомском – 291 мг/дм<sup>3</sup> (при величине нормированного показателя 2,84 и 4,0 соответственно). Содержание сульфатов и карбонатов в подземных водах практически по всему разрезу восточной зоны не превышает 12,8 мг/дм<sup>3</sup> и лишь содержание SO<sub>4</sub> в водах юрских отложений достигает 32,3 мг/дм<sup>3</sup>.

**Таблица 2 - Характерные значения параметров химического состава подземных вод в пределах восточной зоны (по Б.П. Ставицкий, А.Р. Курчиков, А.Э. Конторович, А.Г. Плавник, 2006г.)**

Возраст	кол-во анализов	Минерализация		Na		K		Ca		Mg	
		Интервал изменения	M, г/дм <sup>3</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	н-Na	мг/дм <sup>3</sup>	н-K	мг/дм <sup>3</sup>	н-Ca	мг/дм <sup>3</sup>	н-Mg
К <sub>1ар</sub> - К <sub>2см</sub>	275	5.49-29.3	15.70	5457.00	0.59	51.40	3.66	466.00	4.82	96.30	1.01
К <sub>1пс</sub>	2057	3.58-44.3	19.20	6031.00	0.53	79.20	3.73	1255	10.60	43.10	0.39
Ж <sub>1-3</sub>	2188	2.6-85.4	27.80	9680.00	0.60	159.0	1.24	851.00	4.91	110.00	0.64

Cl		HCO <sub>3</sub>		SO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>	I		Br		B	
мг/дм <sup>3</sup>	Cl/M*10 <sup>3</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	н- HCO <sub>3</sub>	мг/дм <sup>3</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	н-I	мг/дм <sup>3</sup>	н-Br	мг/дм <sup>3</sup>	н-B
9354.00	0.596	297.00	4.00	5.10	9.30	8.56	0.90	36.50	4.10	6.66	0.70
11511.00	0.60	291.00	2.84	10.40	3.20	9.20	0.80	49.40	4.30	11.80	1.00
16346.00	0.588	764.00	6.46	32.30	12.80	4.93	0.30	61.20	3.70	8.40	0.60

По содержанию йода воды апт-сеноманских и неокомских отложений имеют практически вдвое повышенные ( $8,6 - 9,2 \text{ мг/дм}^3$ ) по отношению к юрским ( $4,9 \text{ мг/дм}^3$ ) концентрации, при этом величина нормированного показателя не превышает  $0,9$ , снижаясь для вод юрских отложений до  $0,3$ . Изменение среднего содержания брома в водах увеличивается с глубиной аналогично минерализации, от  $35,6 \text{ мг/дм}^3$  для апт-сеноманских отложений,  $49,4 \text{ мг/дм}^3$  в неокомских и до  $61,2 \text{ мг/дм}^3$  – для юрских. При этом в водах апт-сеноманских и неокомских отложений содержание брома пропорционально увеличению хлоридности вод (величина нормированного показателя составляет  $4,1-4,3$ ). Воды юрских отложений существенно обеднены бромом ( $n\text{-Br}$  равен  $3,7$ ). Количество бора в водах неокомского комплекса наиболее высокое  $11,8 \text{ мг/дм}^3$ , с уменьшением в апт-альб-сеноманском до  $6,66 \text{ мг/дм}^3$  и в юрском до  $8,4 \text{ мг/дм}^3$ , при нормированном показателе около единицы.

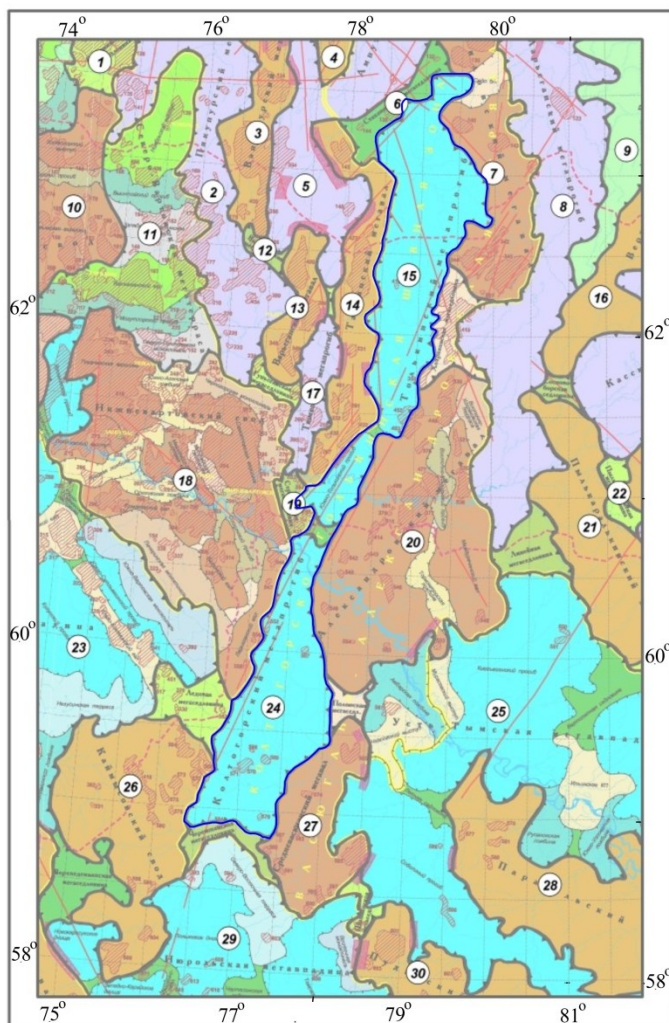
Представленная характеристика гидрогеологических условий рассматриваемого в работе района выполнена по данным региональных исследований. Но выбранная территория является одной из наиболее изученных областей Западно-Сибирского бассейна, поэтому в её пределах возможно проведение более детальных исследований химического состава подземных вод с анализом изменения показателей ионно-солевого состава вод по разрезу отложений.

### 1.3 Тектонические условия

Тектонические процессы, протекающие на протяжении всего периода развития Западно-Сибирского бассейна, оказывают большое влияние на гидрогеохимические условия подземных вод. Изучение влияния тектонических процессов на изменение химического состава вод глубоких горизонтов отражено в работах А.А. Трофимука, А.Э. Конторовича, И.И. Нестерова, В.С. Суркова, В.М. Матусевича, О.В. Бакуева, Б.П. Ставицкого, А.Р. Курчикова, А.Г. Плавника и других [26-27, 40, 46, 52, 61, 84 и др.].

Рассматриваемая область расположена в центральной части Западно-Сибирской плиты имеющей двухэтажное строение. Нижний этаж представлен докембрийскими и палеозойскими отложениями складчатого фундамента. Верхним этажом плиты является чехол, состоящий из полого залегающих мезозойских и кайнозойских не метаморфизованных отложений. Мощность этого покрова в области исследований достигает от 2500 м до 4500 м.

В качестве геологической основы для описания закономерностей гидрогеохимических условий, а также для их сопоставительного анализа с результатами воздействия тектонических процессов, в работе используется тектоническая карта центральной части Западно-Сибирского бассейна под редакцией В.И. Шпильмана [85]. На рисунке 7 представлен фрагмент этой карты с выделением границ структур первого порядка.



Номера структур первого порядка:

- 1 - Суторминская мегаседловина, 2 - Пякупурский мегапрогиб, 3 - Вэнгапурский мегавал, 4 - Етыпурский мегавал, 5 - Ампутинский мегапрогиб, 6 - Стахановская мегаседловина, 7 - Бахилловский мегавал, 8 - Ларьеганский мегапрогиб, 9 - Верхнетолькинская мегатерраса, 10 - Сургутский свод, 11 - Северо-Вартовская мегатерраса, 12 - Валюнинская мегаседловина, 13 - Варьеганский мегавал, 14 - Тагринский мегавал, 15 - Толькинский мегапрогиб, 16 - Верхнекаралькинский мегавал, 17 - Тюменский мегапрогиб, 18 - Нижневартовский свод, 19 - Стрежевская мегаседловина, 20 - Александровский мегавал, 21 - Пылькарминский мегавал, 22 - Пылькарминская мегаседловина, 23 - Юганская мегавпадина, 24 - Колтогорский мегапрогиб, 25 - Усть-Тымская мегавпадина, 26 - Каймысовский свод, 27 - Среднеасюганский мегавал, 28 - Парабельский мегавал, 29 - Нюрольская мегавпадина, 30 - Пудинский мегавал

— граница Колтогорско-Толькинской шовной зоны

**Рисунок 7 - Фрагмент тектонической карты центральной части Западно-Сибирской плиты  
(под ред. В.И.Шпильмана, 1998)**

Одной из наиболее характерных областей проявления мощных тектонических движений в рассматриваемом районе является Колтогорско-Толькинская шовная зона, являющаяся унаследованной структурой Колтогорско-Уренгойского рифта. Шовная зона протягивается в центральной части с севера на юг, включает Толькинский и Колтогорский мегапрогибы.

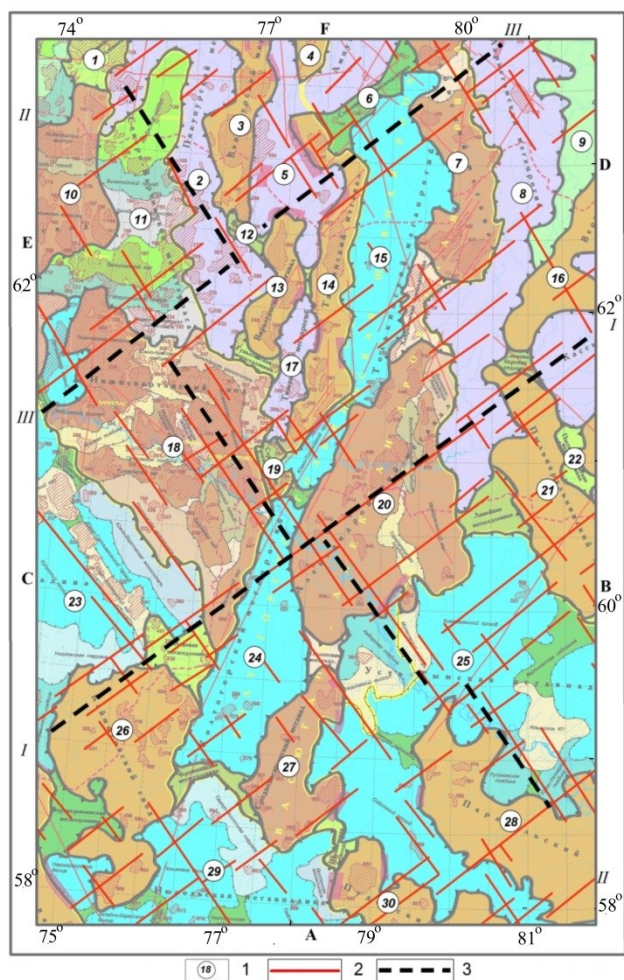
Рассматриваемая область полностью включает в себя следующие крупные структурные элементы первого порядка: Каймысовский и Нижневартовский своды, Александровский, Средневасюганский, Варьеганский и Тагринский мегавалы, Колтогорский и Толькинский мегапрогибы и Северо-Вартовскую мегатеррасу, область захватывает большую часть Усть-Тымской и Нюрольской мегавпадин, Ампутинского, Пякупурского и Ларьеганского мегапрогибов, Пудинского, Парабельского, Пыль-Караминского и Вэнгапуровского мегавалов.

#### **1.4 Геодинамическое районирование**

В диссертационной работе используются результаты геодинамического районирования, представленные в работах [71-72]. В основу районирования авторами закладывается анализ рельефа земной поверхности, расположения гидрографических объектов совместно с учетом данных о строении осадочного чехла и кристаллического фундамента бассейна. В результате проведенного районирования выделяются прямолинейные элементы различной длины – линеаменты.

На рисунке 8, в пределах рассматриваемой области представлен результат проведенного линеаментного анализа. Красными линиями выделены линеаменты преимущественно северо-восточной и северо-западной направленности. Несмотря на сложную картину, в расположении линеаментов прослеживаются определенные закономерности. В работе [61] выделены, наиболее сгруппированные и последовательно расположенные линеаменты, в три линейно выдержанные зоны, на рисунке 8 они отмечены черными прерывистыми линиями и обозначены римскими цифрами *I*, *II* и *III*.





**Рисунок 8 - Схема геодинамического районирования  
(О.С. Мартынов, А.Г. Плавник)**

(1 - наименования тектонических структур (см. рисунок 7), 2 – линии линейментов,  
3 – границы геодинамических блоков)

Выделенные линейные зоны делят рассматриваемую область исследований на шесть участков, обозначенных буквами от А до F (рисунок 8). Выделяемые области носят во многом условный и приближенный характер, поскольку границами их выделения являются не строго прослеживаемые линии.

В зоне пересечения линий I-I и II-II в южной части территории расположена область А, включающая полностью Средневасюганский мегавал, большую часть Каймысовского свода и Колтогорского мегапрогиба, юго-западную часть Усть-Тымской мегавпадины, северо-западную часть Парабельского мегавала, северную часть Нюрольской мегавпадины и южную часть Александровского мегавала. Область В расположена в восточном сегменте пересечения зон I-I и II-II, захватывает юго-восточную часть Александровского мегавала, северо-восточную

область Усть-Тымской мегавпадины, юг Ларьеганского мегапрогиба и северо-запад Пылькарминского мегавала.

Область **С** расположенная между параллельными зонами *I-I* и *III-III* и пересекающей их линией *II-II* в западной части территории, включает большую часть Нижневартовского свода и восточную часть Юганской мегавпадины. Восточную часть этой полосы образует область **Д**, охватывающая большие части Толькинского и Ларьеганского мегапрогибов и Бахиловского мегавала, северо-восточную часть Нижневартовского свода и север Александровского мегавала.

Области **Е** и **Ф** расположенные севернее линеаментной зоны *III-III*, занимают сравнительно небольшую часть территории, области разделены зоной *II-II*, которая в этом районе несколько смещена на восток относительно остальной её части. Область **Е** включает северо-восточную часть Сургутского свода и большую часть Северо-Вартовской мегатеррасы. В область **Ф** полностью входит Стахановская мегаседловина, большая часть Вэнгапурского мегавала, южная часть Ампутинского мегапрогиба, северные части Толькинского мегапрогиба и Бахиловского мегавала.

## ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Методы анализа гидрогеохимических показателей подземных вод рассматриваются в работах А.О. Алекина, Е.А. Барс, А.А. Карцева, А.Э.Конторовича, В.Н. Корценштейна, Б.П. Ставицкого, В.М. Матусевича, А.Р.Курчикова, А.Г. Плавника, С.Л. Шварцева и др. [2, 5, 6, 28, 57, 78, 87, 90, 91 - 94 и др.].

При характеристике гидрогеохимических условий основными методами анализа изменения гидрогеологических параметров являются традиционные статистические показатели (средние значения, вариации, корреляционные связи и др.) и стандартные классификации (В.А. Сулина, О.А. Алекина и др.). Для представления пространственных закономерностей химического состава подземных вод, как основной стандартный метод используется построение карт изменения минерализации и содержания отдельных водорастворенных компонентов.

Для анализа гидрогеологических условий глубоких горизонтов по разрезу отложений в работе приводится описание метода построения гидрогеохимических разрезов с учетом структурно-литологического строения отложений и построение квазитрехмерной модели гидрогеологических условий с использованием результатов расчета радиально-условных профилей.

Для оценки влияния геоморфологии района на химический состав вод используется метод сопоставления отдельных компонентов химического состава с вторыми производными структурных планов. Районирование территории является так же одним из критериев оценки условий формирования отдельных участков рассматриваемого района.

### 2.1 Картирование гидрогеохимической информации

Для выполнения задач картопостроения в работе использован программный комплекс GST (программа построения геологических карт и подсчета запасов),



включающий в себя средства построения карт в сплайн-аппроксимационной постановке, возможности хранения и пополнения данных, а так же предоставляет широкие возможности для определения последовательности решения множества геологических задач, связанных с картопостроением [76].

Одним из важных элементов при построении карт гидрогеохимических параметров в программном комплексе является возможность пополнения (внесение новых проб подземных вод) и исключения из построения данных опробований (исключение недостоверных данных) при этом имеется возможность автоматического перестроения всех необходимых объектов, в случае внесения изменений в какие-либо исходные данные. При этом автоматическое перестроение карт осуществляется по всему множеству компонент.

Важное преимущество использования программного продукта GST заключается в возможности учёта разнообразной косвенной информации, которая может иметь существенно отличающуюся физическую природу от картируемого параметра. Причем возможные взаимосвязи могут задаваться не только в виде уравнений регрессии, но и с помощью дифференциальных уравнений второго порядка в частных производных – уравнений математической физики.

Эта обобщенность математической постановки задачи картопостроения позволяет при построении карт гидрохимических параметров легко учитывать, например такую информацию, как геометрия границ элементов стратиграфического районирования. В качестве дополнительной информации, определяющей региональные рамки в закономерностях содержания гидрохимических компонентов, учитывается также факт наличия опресненной инфильтрационной воды в зонах близких к обрамлению Западно-Сибирского бассейна.

Для оптимального использования данных и быстрого перестроения карт гидрогеохимических параметров в случае изменения какой-либо информации, создана система хранения и использования проектов GST. Система хранения представляет собой сеть проектов, которые содержат отдельные группы информации необходимой для построения гидрогеологических карт:

- исходные данные для построения (гидрогеохимические опробования, результаты испытаний, информация обработки ГИС и др.);
- структурные карты;
- карты гидрогеологических параметров;
- данные административных единиц, тектонических элементов, границ геологических объектов и др.

## **2.2 Построение гидрогеохимических разрезов с учетом структурно-литологического строения отложений**

Результаты картирования параметров химического состава подземных вод и районирования территории дает характеристику гидрогеологических условий в пределах отдельных горизонтов и комплексов. К сожалению, двумерное картирование в пределах отложений не позволяет оценить в полной мере сложную картину изменения параметров химического состава подземных вод по разрезу отложений.

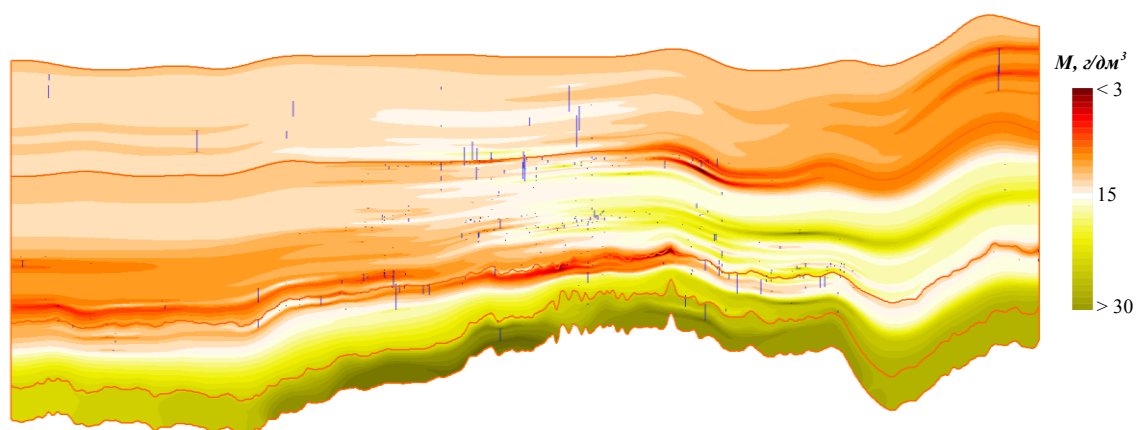
При исследовании неоднородности гидрогеохимического комплекса подземных вод большое значение имеет анализ данных по разрезу отложений. Построение гидрохимических разрезов осложняется спецификой гидрогеохимической информации – фрагментарностью данных, неравномерностью изученности по площади, невысокой достоверностью гидрогеохимических анализов, изменчивостью гидрохимических свойств отложений по разрезу и др.

Особенностью результатов гидрогеохимического опробования является также то, что интервалы испытания могут быть охарактеризованы несколькими пробами подземных вод, химический состав которых зачастую существенно различается. Это тесно связано со сложной проблемой анализа качества имеющейся гидрогеохимической информации и с отсутствием надежных методов оценки её достоверности, как по содержанию отдельных компонентов, так и по всему вектору состава водорастворенного комплекса.

Задача анализа и прямого картирования данных по разрезу отложений усложняется необходимостью учета структурно-литологического строения отложений, их анизотропии, поскольку этот фактор оказывает решающее влияние на неравнозначность субвертикального и сублатерального направлений при прослеживании содержания как отдельных водорастворенных компонентов, так и общей минерализации подземных вод.

Для учета особенностей строения отложений при картировании в этих условиях разработаны методы на основе вариационного метода геокартирования, который позволяет реализовывать разнообразные условия средствами физико-математического моделирования [5, 56, 59, 67, 87].

При построении гидрогеохимических разрезов анизотропия отложений учитывается геометрией залегания кровли (и подошвы) основных водоносных комплексов (апт-альб-сеноманского, неокомского, юрского и палеозойского) и закладывается модель унаследованного осадконакопления, при которой в залегании отдельных пластов прослеживаются черты структурных планов нижележащих и вышележащих отложений (рисунок 9). При этом обеспечивается выдержанность значений по напластованию отложений и существенно большая вариативность в поперечном направлении [14, 68].



**Рисунок 9 - Учет анизотропии при построении гидрогеохимического разреза**

Одно из решений задачи компьютеризированного построения гидрогеохимических разрезов с учетом структурно-литологического строения отложений реализовано в программном комплексе GST [76]. Моделирование

согласованного изменения гидрогеохимических параметров с основными элементами структурного залегания водоносных горизонтов реализовано введением стабилизатора в виде глобальных уравнений, учитывающих геометрию кровли и подошвы водоносных горизонтов (точнее производные по направлению глубин залегания).

При построении гидрогеохимического разреза учитываются данные в пределах определенной полосы вдоль линии разреза. Структурные планы горизонтов в пределах рассматриваемой зоны имеют иногда существенную вариацию в глубине залегания и, соответственно, скважины находящиеся на удаленном расстоянии от линии разреза могут значительно отличаться глубиной залегания комплекса. Поэтому при снесении скважины на разрез интервал опробования в скважине спроецирован относительно глубин залегания кровли и подошвы исследуемого горизонта на линию разреза.

Полученный аппарат построения разреза дает возможность анализировать данные гидрогеологических параметров вдоль выбранной линии разреза с учетом структурно-литологических условий территории. Реализация автоматического построения описанного метода выполнена в программном комплексе GST и позволяет оперативно получить информацию, характеризующую химический состав подземных вод по заданной линии разреза.

### **2.3 Районирование подземных вод по химическому составу с применением метода кластеризации**

Одним из элементов гидрогеохимического районирования подземных вод является построение карт минерализации и содержания отдельных компонентов ионно-солевого состава. Но большой набор картируемых параметров и широкий диапазон вариаций их значений осложняют выявление общих закономерностей химического состава подземных вод и, соответственно, картирование зон распространения «однотипных» вод.

Применение существующих гидрогеологических классификаций подземных

вод по химическому составу (В.А. Сулина, О.А. Алекина и др.) в пределах нижнего гидрогеологического этажа Западно-Сибирского бассейна так же практически не позволяют дифференцировать пробы подземных вод по их гидрогеохимическому облику. В пределах всего бассейна выделяются фактически две группы вод и уже при субрегиональном масштабе построений невозможно осуществить более дробное их разделение на подгруппы (в то время как самое общее рассмотрение показывает, что по химическому составу подземные воды бассейна имеют значимые различия).

Вследствие этого для изучения гидрогеохимических условий эффективным является использование формализованных (абстрагированных от физико-химической природы рассматриваемых данных) математических методов кластеризации. Обобщение результатов, полученных при анализе гидрохимических данных в целом по Западно-Сибирскому нефтегазоносному бассейну и по отдельным его субпровинциям, определили следующую последовательность действий для решения задач типизации и районирования подземных вод для объектов различного уровня [62].

Метод кластеризации данных гидрохимических опробований заключается в разделении данных по химическому составу (с использованием относительных – хлорных отношений) проб подземных вод, на «однородные» группы формализованным методом кластерного анализа Уорда, позволяющий структурировать массив анализов в виде иерархического дерева. При этом кластеры нижнего уровня объединяются с переходом на более высокий уровень в укрупненные кластеры, что позволяет определиться с требуемой детальностью кластеризации уже на основе анализа выполненной группировки.

При районировании подземных вод методом кластеризации в качестве исходных используются нормированные к содержанию хлора показатели общей минерализации и содержания основных компонентов ионно-солевого состава – натрия, калия, кальция, магния, сульфата, гидрокарбоната, карбоната, а также йода, брома и бора. Следующим этапом является выделение групп опробований схожих по рассматриваемым компонентам химического состава подземных вод.

Использование этого метода для решения задач классификации гидрохимических данных, безусловно, должно сопровождаться содержательным анализом результатов. Одним из элементов такого контроля является районирование принадлежности анализов к различным кластерам. Во многом информативным является простое выявление наличия или отсутствия в результатах кластеризации пространственных закономерностей (в сопоставлении с выдержанностью или невыдержанностью геологических и, в частности, гидрогеологических условий изучаемого объекта). Сравнение результатов районирования и закономерностей в изменении содержания отдельных водорастворенных компонентов позволяет более детально оценить «внутреннюю» природу выполненного группирования данных [94].

Так же, анализ результатов районирования гидрохимических данных при различных вариантах группирования является надежным инструментом для обоснованного принятия решения в условиях неоднозначности выбора количества кластеров. Кроме этого, в случае проявления пространственной последовательности расположения данных при переходе от одного кластера к другому, фактически снимается вопрос об их упорядочивании при поиске количественных критериев разделения подземных вод по химическому составу.

Осуществленное таким образом выделение кластеров (групп анализов проб подземных вод, характеризующихся внутренним сходством по химическому составу и, вместе с тем, общностью в пространственном расположении точек их отбора) по сути представляет собой решение задачи типизации подземных вод рассматриваемого объекта.

На основе выполненного разделения легко осуществляется количественный анализ сходства и различия выделенных групп. Простым, но весьма важным представлением свойств различных «типов» подземных вод являются среднестатистические показатели химического состава проб в различных кластерах.

Применение кластерного анализа Уорда показало свою эффективность в решении задач гидрогеохимического районирования на региональном и

субрегиональном уровнях. Одним из примеров служат результаты районирования гидрогеологических условий Западно-Сибирского бассейна [63]. На субрегиональном уровне описанный метод успешно опробован при районировании отдельных крупных районов Западной Сибири [43, 64, 65]. Кроме общей направленности гидрогеохимического районирования, использование метода применимо для работ связанных с нефтегазопроисковой тематикой [33].

## **2.4 Оценка флюидодинамической взаимосвязи водоносных горизонтов по морфологическим особенностям**

Воздействие геодинамических процессов приводит к формированию блочного строения земной коры при этом разница в свойствах между отдельными блоками (в том числе и соседними) в силу частных особенностей могут быть как весьма значительными, так и малозаметными. Большое значение имеют геометрия и размеры геодинамических блоков, а также характеристика границ между ними в отношении их проницаемости (являются ли они экранирующими границами или зонами с повышенной проницаемостью). Важной особенностью, усложняющей выполнение оценки этих показателей является иерархичность блокового строения земной коры, при которой выделяется, как правило, не менее двух систем блоков. Характер и масштаб блокового строения в разной степени проявляется как в плане, так и по разрезу отложений.

Доступная информация для интерпретации геодинамических условий характеризуется различной детальностью, что значительно затрудняет её анализ. На сегодняшний день основная доля информации поступает от обработки дистанционного зондирования земной поверхности с применением авиационной или космической техники. Эти наблюдения обеспечивают высокую точность не только высот рельефа, а также характеристики теплового поля Земли. Не случайно во многом именно эти данные являются основной для выделения основных элементов характеризующих геодинамически напряженные зоны на территории Западно-Сибирского мегабассейна.

При этом результаты дистанционного зондирования не позволяют в полном объеме, детально и надежно охарактеризовать глубинное строение осадочного чехла и тем более подстилающего фундамента. Поэтому для характеристики глубоких отложений используют в качестве дополнительной информации данные сейсмических исследований.

Результаты сейсмических исследований и дистанционного зондирования представляют информацию, лишь косвенно характеризующую геометрию геодинамически напряженных зон и связанных с ними нарушений постоянства свойств геологических объектов. Поэтому выделение зон нарушений, которые могут приводить как к росту проницаемости (например, в зонах растяжения), так и к нарушению связности области фильтрации (например, при сдвиговых тектонических нарушениях) являются менее надежными.

Как следствие неоднозначности результатов интерпретации этих данных является расхождение в выделении зон тектонических нарушений, прослеживание которых в настоящее время в значительной степени носит субъективный характер. Преимущественно это отражается при выделении малоамплитудных нарушений, которые приурочены большей частью к сравнительно небольшим месторождениям.

В этих условиях при анализе геодинамической обстановки наиболее целесообразно применение формализованных методов. Одним из таких методов является – морфоструктурный анализ, который достаточно активно используется в гидрогеологических исследованиях. Так на основе результатов морфологического анализа рельефа земной поверхности выполняются определения характеристик фильтрационного потока грунтовых вод, при этом рассматриваются такие показатели как градиенты, первые и вторые производные по различным направлениям [5, 51].

Аналогичный подход применен для формализованного выделения предполагаемых границ геодинамически напряженных зон [40, 71]. Отличительная особенность реализованного метода состоит в том, что задача формулируется не в виде поиска границ (например, лианементных), а в



разделении рассматриваемой территории на элементы, которые относительно друг друга сдвинуты по вертикали, образуя связанные «положительные» и «отрицательные» элементы. Возможные границы ГДЗ при этом автоматически определяются как переходные зоны между выделенными «разнознаковыми» элементами. В качестве информационной основы для построений выбираются карты по отражающим горизонтам, либо структурные карты отложений.

Гриды рассматриваемых структурных поверхностей фактически являются их математическими моделями (в виде некоторой функции  $S(x,y)$ ), для которой легко выполнимы требуемые математические операции – определение в каждой точке карты градиента

$$\nabla S = (\partial S / \partial x, \partial S / \partial y),$$

а также второй производной по направлению градиента

$$Cr = \frac{\partial^2 S}{\partial e^2}, \quad e = \frac{\nabla S}{|\nabla S|}$$

где  $e$  - единичный вектор, совпадающий по направлению с направлением градиента поверхности [40, 56, 61].

Расчетные значения второй производной по направлению градиента ( $Cr$ ) используются для их картирования. Точнее осуществляется картирование знака величины  $Cr$ . Использованный подход к анализу морфологии структурной карты является приближенным, но в условиях малых углов падения изучаемой поверхности, он обеспечивает, вполне надежные результаты в сочетании с простотой реализации. Зонам вероятного расположения тектонических зон соответствует нулевое значение параметра  $Cr$ .

Для оценки флюидодинамической связи между отложениями выполняется сопоставление морфологических особенностей структурных планов хорошо изученных горизонтов с минерализацией подземных вод и содержанием в них основных компонентов ионно-солевого состава. Проводится сопоставление имеющихся гидрогеохимических данных со значениями второй производной поверхности по направлению градиента (точнее, близость значения к нулю). Расчеты осуществляются с помощью программного комплекса GST.

Использование этого метода при анализе геологического строения и гидрогеологических особенностей Урненского и Усть-Тегусского месторождений подтвердило то, что происходившие в течение длительного времени тектонические процессы определяют не только сложный вид локальных особенностей структурных планов месторождений, но и их гидродинамическую связь с трещинными коллекторами палеозойского комплекса [13, 40, 41,61].

## **2.5 Квазитрехмерное моделирование гидрохимического поля**

При использовании вышеописанного метода, построения гидрохимических разрезов отражается трендовая закономерность изменения рассматриваемых показателей в пределах некоторой полосы, в пределах которой учитываются имеющиеся данные. Но при этом в зоне пересечения на разных разрезах значения картируемого параметра может значительно отличаться. Несогласованность значений, очевидно, появляется за счет различия в учете влияния интервалов опробования в скважинах, находящихся за областью пересечения зоны выбора данных для каждого разреза. Вследствие этого, рассматриваемая выше методика построения разреза, применяемая для анализа трендовых закономерностей изменения химического состава подземных вод в определенной области, не может обеспечить согласованность построений.

Для обеспечения построения согласованной модели гидрохимического поля в работе используется предварительное построение закономерностей изменения химического состава подземных вод по глубине в отдельных точках (профилях), расположенных по заданной сетке. В этом случае полученные результаты можно использовать как для построения гидрохимических разрезов проходящих через точки профилей, так и для картирования данных по отдельным геологическим объектам.

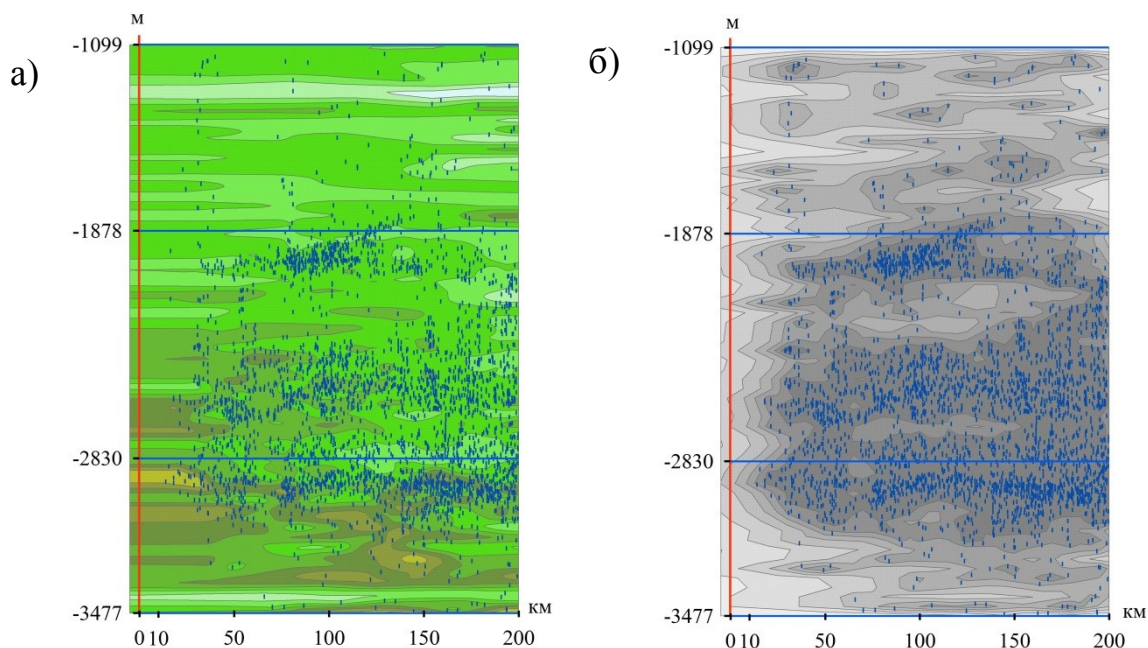
Для анализа гидрохимического поля в заданной точке, производится построение гидрогеохимического (условно-двумерного) радиального профиля, на котором по одной координате откладывается расстояние до интервалов

опробования, а по другой – глубина отложений. Фактические данные гидрогеохимических опробований, находящиеся в пределах окружности определенного радиуса, выносятся на этот условно-двумерный разрез, далее построение осуществляется методами двумерного картирования.

Чтобы исключить необходимость учета изменчивости структурного плана отложений глубина отбора проб подземных вод проецируется (в рамках модели унаследованного осадконакопления с пропорциональным учетом залегания структурных планов основных горизонтов) на глубину в точке построения профиля. Для выполнения построений используется программный комплекс GST, в рамках которого достаточно легко учитывать (и контролировать) соотношение значимости фактических данных и реализуемых модельных условий, в частности, условие различия взаимосвязи водоносных отложений по разрезу и по латерали отложений.

На рисунке 10а приведен пример построения радиального профиля в точке расположенной в центральной части Самотлорского месторождения, по вертикальной оси отмечается глубина, а по горизонтальной оси откладывается расстояние от задаваемой точки до скважин с опробованными интервалами, красной линией отмечена линия профиля, для которой выполняется расчет значений гидрохимического параметра. В качестве структурных карт использованы карты основных отражающих горизонтов (на разрезе они отмечены синими линиями), соответствующие основным водоносным комплексам, сверху в низ – апт-альб-сеноманский, неокомский и юрский.

По выполненному радиальному профилю для интерпретации надежности выполненных построений строится карта устойчивости (соотношение ошибки аппроксимации к ошибке прогноза, рисунок 10б), в качестве оптимального значения устойчивости для построенной карты используется условие равенства 0,5 среднего значения коэффициента устойчивости [58].



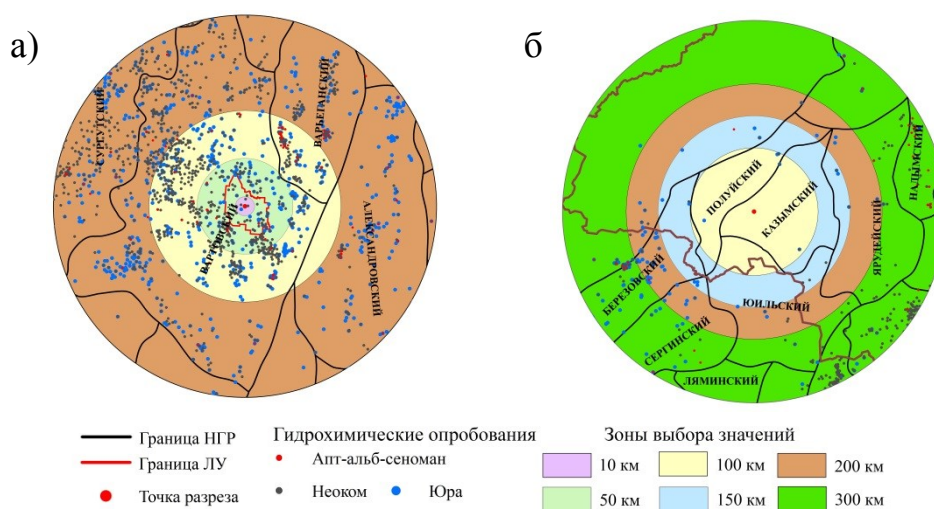
**Рисунок 10 - Радиальный профиль минерализации (а) и карта устойчивости (б)**

При построении радиального профиля необходимо определиться с выбором управляющих параметров – радиуса выборки и весового коэффициента на данные, которые в значительной степени определяют конечные результаты применения предлагаемого подхода. Остановимся более детально на характеристике и обосновании выбора этих управляющих параметров.

Данные гидрохимических опробований расположены крайне неравномерно как по площади, так и по разрезу отложений. Наибольшее количество данных приурочено к центральной части бассейна (преимущественно к открытым и разрабатываемым месторождениям), в то же время значительные территории, преимущественно в прибортовой зоне бассейна, а также глубокие горизонты северной части Западной Сибири остаются слабоизученными. По разрезу отложений наиболее изучены отложения неокомского водоносного комплекса, менее опробованы воды юрского комплекса и апт-альб-сеноманские отложения. Поэтому одним из ключевых параметров является определение радиуса выборки гидрохимических параметров при построении радиальных профилей.

Для сопоставительного анализа выполнены построения двух условно-двумерных профилей для условий с различным количеством гидрохимической

информации, как по площади, так и по разрезу отложений. Один профиль с достаточно большим количеством данных расположен в центральной части Западно-Сибирского бассейна в Вартовском нефтегазоносном районе (приурочен к Самотлорскому месторождению), радиус выбора данных изменяется от 10 км до 200 км (рисунок 11а). Второй менее изученный, расположен в северо-западной части Западно-Сибирского бассейна в западной части Казымского нефтегазоносного района и характеризуется малым количеством данных, ближайшие данные находятся на расстоянии 80 км, соответственно радиус профилей увеличен до 300 км (рисунок 11б).



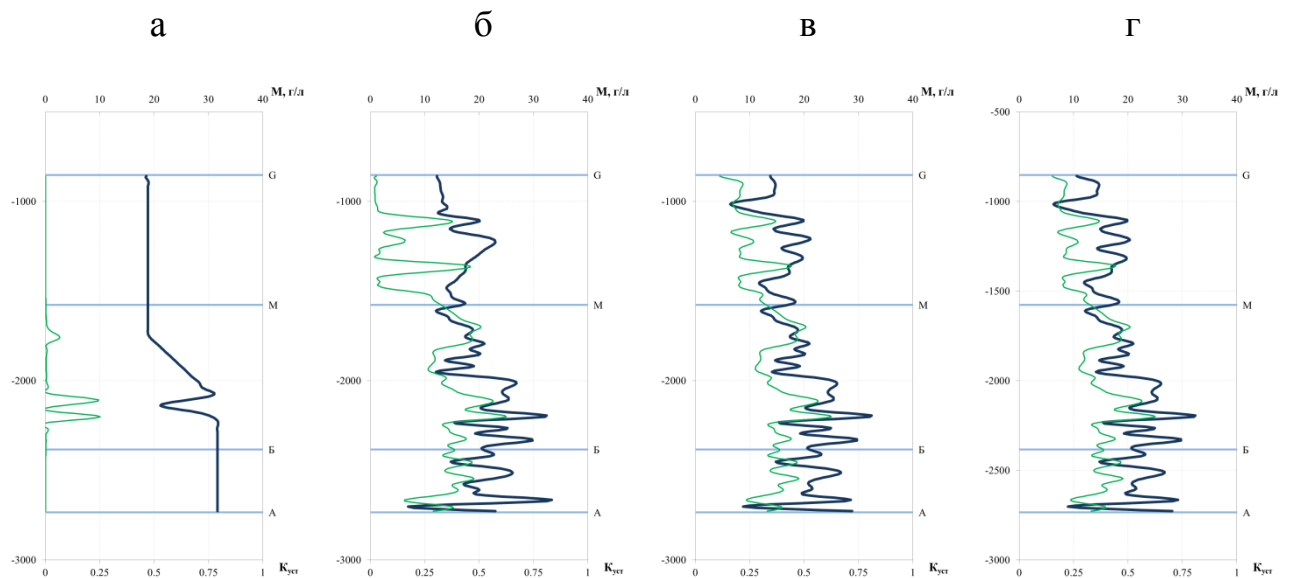
**Рисунок 11 - Обзорные схемы расположения радиальных профилей**

Подземные воды Самотлорского месторождения в 10 километровой зоне от выбранной точки характеризуется всего 6 гидрохимическими опробованиями, в 30 км зоне количество опробований составляет 205, в пределах 50 км – 515 проб, при выборке в 100 км количество увеличивается до 1688 анализов, для радиуса в 200 км число гидрохимических опробований возрастает до 3416 (рисунок 11а). Рассматриваемая область второго профиля в радиусе 100 км охарактеризована 22 опробованиями подземных вод, в зоне до 150 км количество анализов составляет 73, при выборке в 200 км число анализов равно 207, с увеличением радиуса до 300 км в выборку попадает 873 пробы (рисунок 11б).

Изменение минерализации и коэффициента устойчивости с глубиной

снятые с первого профиля при разных радиусах выборки данных представлены на рисунке 12. На графиках темно-синим цветом отображено изменение минерализации подземных вод, а зеленым значения коэффициента устойчивости, горизонтальными линиями отмечена глубина залегания горизонтов.

На рисунке 12а, при радиусе учитываемых значений до 10 км отмечается наличие данных только для части отложений неокома (пласты БВ<sub>8</sub>, БВ<sub>10</sub>), при этом коэффициент устойчивости составляет 0,25. По остальным отложениям в виду отсутствия данных значения минерализации неизвестны, кривая минерализации постоянна на всем протяжении и коэффициент устойчивости близок к нулю.

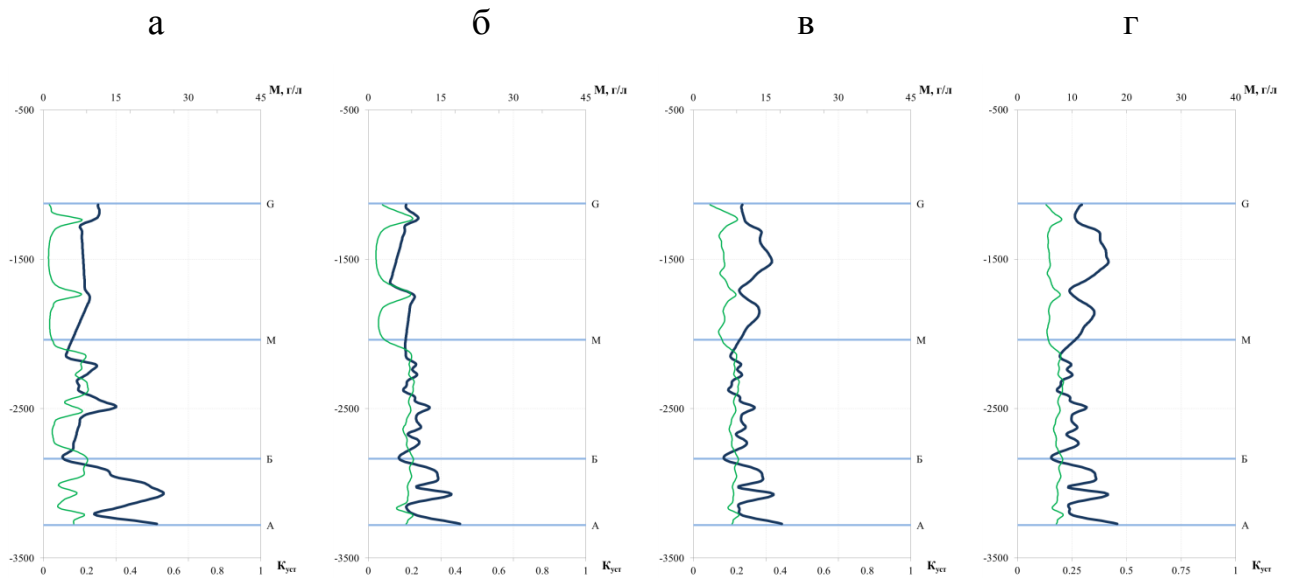


**Рисунок 12 - Изменение минерализации и коэффициента устойчивости с глубиной (по выборке данных: а - в пределах 10 км, б – 50 км, в – 100 км, г – 200 км)**

С увеличением радиуса охвата появление дополнительной информации не оказывает существенного влияния на расчетные значения минерализации, приуроченные к отложениям пластов БВ<sub>8</sub> и БВ<sub>10</sub>. Для других отложений появление дополнительной гидрогеохимической информации ожидаемо приводит к большей детализации закономерностей изменения минерализации с глубиной (рисунок 12б, 12в). Коэффициент устойчивости увеличивается, что связано с включением в построение данных по этим отложениям. При увеличении радиуса выборки более 100 км, кривые изменения минерализации и устойчивости

практически не изменяются (рисунок 12г).

Радиальный профиль, выполненный в северо-западной части бассейна, характеризующийся малой изученностью, с увеличением радиуса выборки имеет более дифференцированный вид, но при всех радиусах выборки характеризуется низкими значениями устойчивости (рисунок 13). При увеличении радиуса выборки более 200 км, кривые изменения минерализации и устойчивости по разрезу не изменяются (рисунок 13).



**Рисунок 13 - Изменение минерализации и коэффициента устойчивости с глубиной (по выборке данных: а - в пределах 100 км, б – 150 км, в – 200 км, г – 300 км)**

Таким образом, при анализе гидрохимической информации водоносных горизонтов Западно-Сибирского бассейна в условиях значительной неравномерности распределения данных, оптимальным может быть признан радиус выборки данных равный 200 км. Более удаленные анализы не влияют на изменение параметров радиального профиля, а радиус менее 200 км может оказаться недостаточным, чтобы охарактеризовать участки с невысокой изученностью.

При построении радиального профиля одним из основных параметров является весовой коэффициент на данные. В аппроксимационном методе картирования, реализованном в программном комплексе GST, использование различных весовых коэффициентов для исходных данных позволяет варьировать

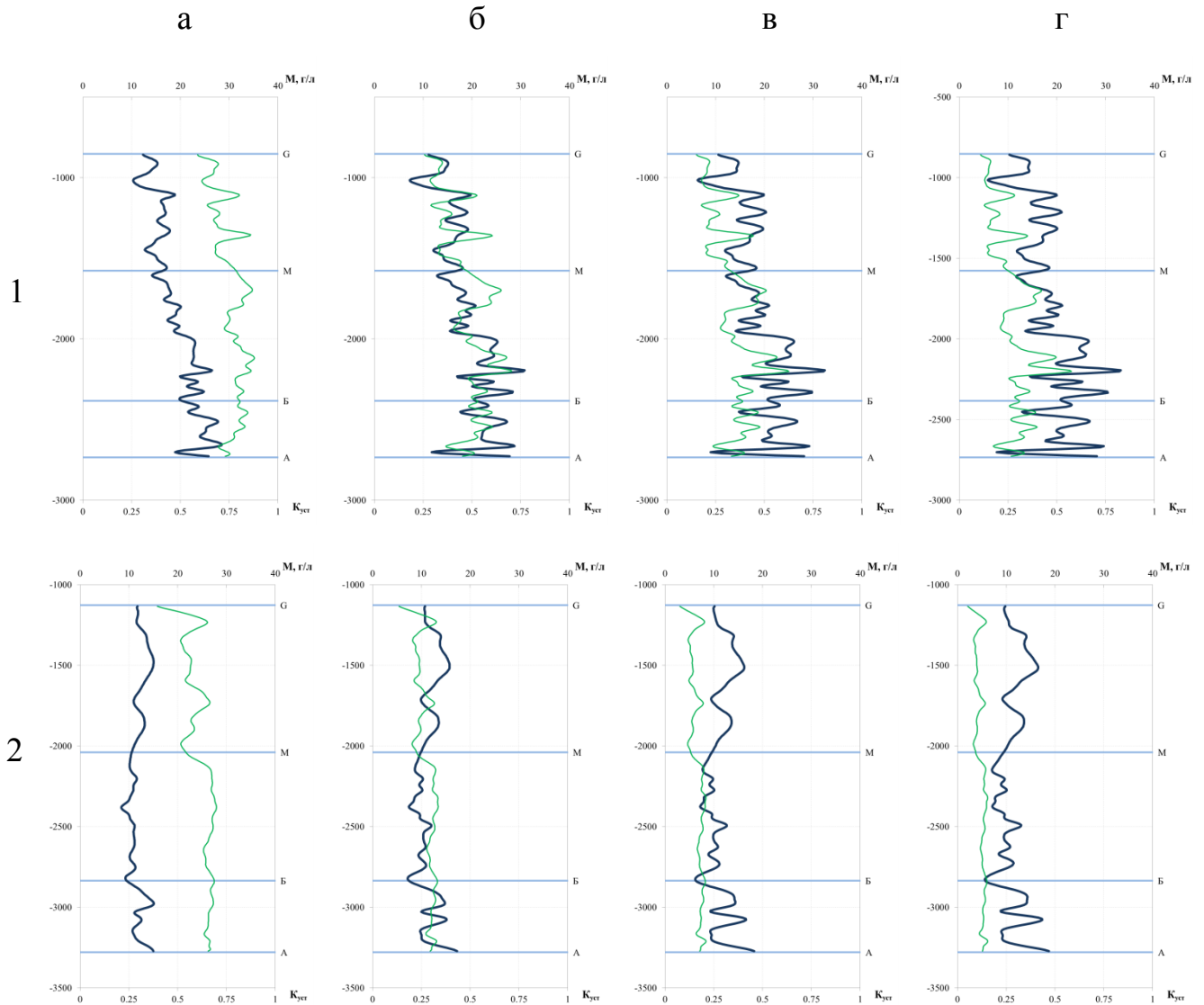
конечными результатами от построения трендовых зависимостей с невысокой точностью картирования в точках с фактическими данными до карт с небольшими погрешностями относительно наблюдаемых данных, но с возможными проявлениями эффектов артефактов. При построениях целесообразна реализация некоторого среднего варианта, обеспечивающего и достаточную согласованность картирования с исходными данными, и соответствие трендовым закономерностям в зонах между этими данными.

На рисунке 14 представлено изменение минерализации и коэффициента устойчивости (1 - по первому профилю, 2 – по второму) при использовании разных весовых коэффициентов (от 100 до 1500) на данные гидрохимических опробований (с учетом данных, расположенных в пределах до 200 км от точки профиля). При выборе коэффициента равного 100, отмечается более плавное изменение минерализации подземных вод по разрезу отложений и высокие показатели устойчивости до 0,9 в интервалах охарактеризованных гидрохимическими опробованиями и очень высокими показателями устойчивости в зонах с отсутствием данных (до 0,7).

При весовом коэффициенте 500, наблюдается более высокая изменчивость показателя минерализации в пределах рассматриваемых пластов и коэффициенты устойчивости в опробованных интервалах достигают 0,7, но интервалы с отсутствием данных имеют повышенные показатели до 0,4-0,5 (рисунок 14б).

С увеличением весового коэффициента до 1000, наблюдается еще большая изменчивость расчетной минерализации в пределах рассматриваемых пластов. Коэффициент устойчивости в зонах с наличием данных составляет около 0,5, что соответствует оптимальному значению устойчивости (рисунок 14в). При дальнейшем увеличении весового коэффициента на данные отмечается увеличение вариативности значений минерализации в пределах отложений в связи с увеличением влияния более удаленных проб подземных вод, а так же значительное уменьшение показателя устойчивости (до 0,3 и менее), что говорит о меньшей надежности этих построений (рисунок 14г).





**Рисунок 14 - Изменение минерализации и коэффициента устойчивости с глубиной (при весе на данные равным: а – 100, б – 500, в – 1000, г - 1500)**

Значение весового коэффициента на данные, равное 1000, является наилучшим, обеспечивающим детальные построения закономерностей изменения параметров по разрезу отложений и оптимальные значения коэффициента устойчивости.

В условиях отсутствия надежных методов реальных трехмерных построений, учитывающих форму залегания водоносных горизонтов, целесообразно использование квазитрехмерного моделирования гидрогеохимических условий. Приведенный подход, основанный, на предварительном построении зависимостей изменения целевых параметров с глубиной в отдельных точках позволяет, с одной стороны, обеспечить

согласованность построений пересекающихся разрезов, а с другой, применять разработанные методы и программные средства построения двумерных разрезов.

Этот метод дополнительно обеспечивает возможность оценки коэффициента устойчивости результатов, отражающего плотность фактических данных в окрестности рассматриваемой точки. Метод реализован на основе программного комплекса GST, который позволяет автоматизировать процесс построения гидрохимических разрезов и обеспечивать быстрое перестроение гидрохимических профилей при изменении исходных данных и появлении новых опробований подземных вод.

Предложенный подход применим для моделирования изменения показателей химического состава по разрезу отложений Западно-Сибирского мегабассейна в целом или отдельных его частей, с различной детальностью, геометрией разрезов, обеспечивая при этом внутреннюю согласованность построений с исходными фактическими данными.

Описанный метод моделирования гидрохимической информации позволяет сформулировать первое защищаемое положение: **Метод построения согласованной квазитрехмерной модели химического состава подземных вод глубоких отложений, основанный на автоматизированном расчете условно-двумерных профилей распределения гидрогеохимических показателей по глубине и обеспечивающий оценку надежности картирования.**

## **ГЛАВА 3 ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РАЙОНА**

Исходной информацией для исследований послужили результаты гидрогеохимических опробований состава подземных вод глубоких отложений Западно-Сибирского бассейна собранные и систематизированные организациями НИИГИГ и ЗСФ ИННГГ СО РАН за период с 1940 г. по сегодняшний день. Всего к настоящему времени в пределах рассматриваемой области накоплено около 5 тыс. анализов подземных вод полученных при испытании более 2 тыс. разведочных скважин. Данные гидрохимических опробований представлены показателем общей минерализации подземных вод, содержанием основных ионов – натрия, магния, калия, кальция, хлора, гидрокарбоната и микрокомпонентов – йода, брома и бора.

### **3.1 Оценка качества гидрохимической информации**

Поскольку данные гидрогеохимических опробований в пределах рассматриваемой области собраны за достаточно большой временной период, в различных геологических условиях, с применением разных технических средств и т.д., то при анализе данных в первую очередь проводится оценка качества накопленной информации. Основными причинами низкого качества и слабой достоверности анализов определений состава пластовых вод, отобранных из разведочных скважин, является несоблюдение правил отбора проб воды, нарушение технологий испытания скважин, разная точность определения анализов, а так же ошибки при переносе данных с одного носителя на другой.

Непосредственную оценку влияния техногенных факторов (в ходе бурения скважин, их испытании и отборе проб) на результаты определения химического состава подземных вод провести достаточно сложно. Поэтому к проведению исследований в разведочных скважинах предъявляются специализированные требования. Перед проведением отбора пробы пластовой воды из ствола

скважины необходимо удалить попавший в пласт промывочный раствор и продукты его взаимодействия с пластовой водой. Однако достаточный объем отбора технических вод определить или не всегда возможно, или не отбирается вследствие различных внешних (организационных) причин. Вследствие этого в пробах воды возможно присутствие определенной доли технических жидкостей, используемых в процессе бурения и опробования разведочных скважин. Кроме того, искажения химического и газового состава подземных вод могут происходить за счет их физико-химического взаимодействия с колонной и (или) фильтром скважины.

Недостоверная характеристика химического состава подземных вод для конкретных интервалов опробования может быть также обусловлена некачественным обустройством скважины, в частности наличием заколонных перетоков, приводящих в результате к отбору проб воды, характеризующих другие горизонты.

В ряде случаев, при бурении скважин с использованием специализированных буровых растворов, например, предупреждающих гидратообразование и характеризующихся весьма специфическим составом, отбраковка достаточно проста. Иногда отбраковать неверные данные удается при наличии нескольких разновременных проб из одного интервала исследований.

Значительность влияния техногенных факторов на результаты гидрохимического опробования ряда объектов вполне очевидна, но для большинства анализов строго оценить их роль в искажении результатов практически невозможно. Наиболее отчетливо технологический фактор проявляется при исследованиях, в процессе которых из одного объекта испытания отбиралось несколько проб воды. Имеющиеся данные таких анализов из одного интервала опробования свидетельствуют о наличии в них значительных расхождений, как в содержании отдельных компонентов, так и в величине их минерализации.

Достоверность анализов зависит от точности, с которой определяются компоненты химического состава пластовых вод при проведении анализа, а так

же нельзя исключать ошибок при неоднократном переносе данных с одних бумажных носителей на другие и в электронный вид.

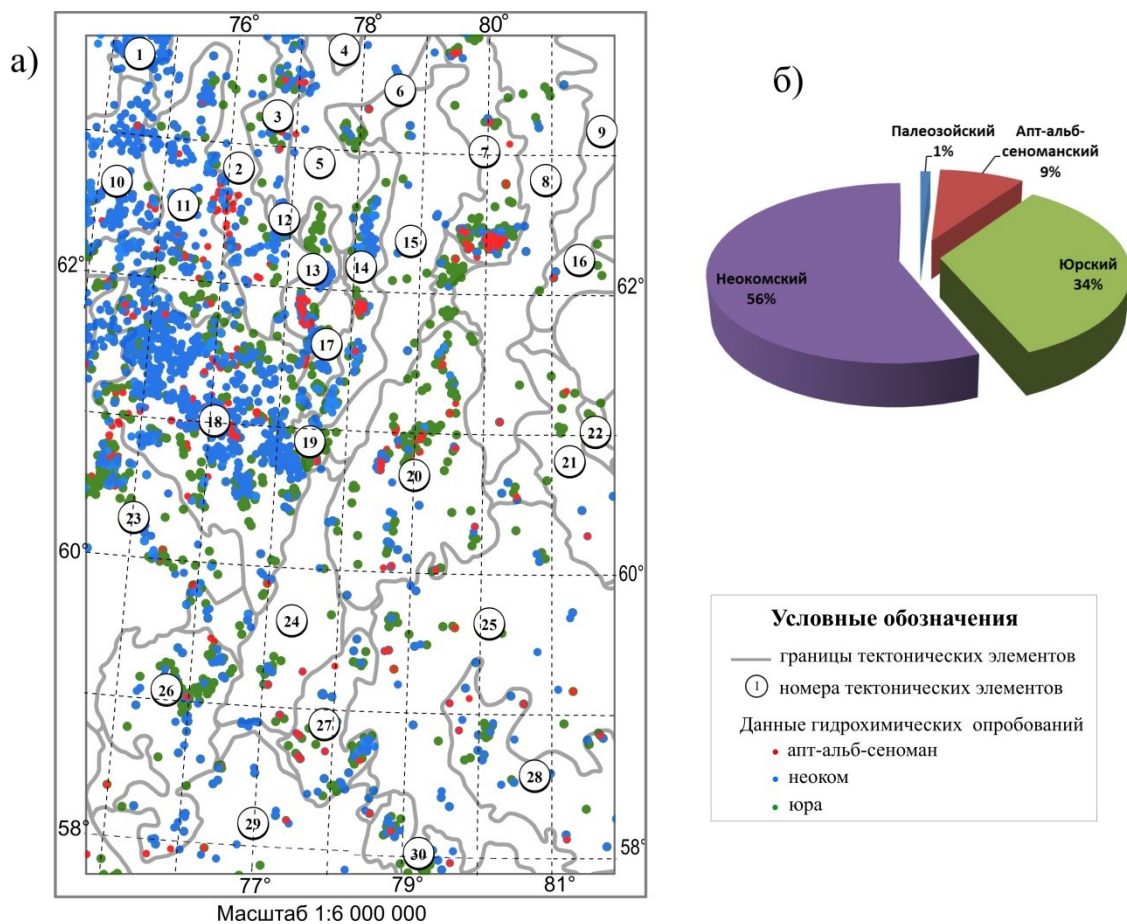
С учетом сделанных выше замечаний о качестве исходной информации при анализе гидрохимических данных осуществляется проверка качества используемых опробований. При этом для отбраковки некачественных проб используются несколько критериев:

- Проверка электронейтральности растворов и равенства минерализации вод сумме содержаний отдельных катионов и анионов.
- Из выборки исключаются, анализы проб, отобранных в скважинах, при бурении или эксплуатации которых были использованы специализированные буровые растворы, жидкости глушения или жидкости, предупреждающие гидратообразование.
- Анализ корреляционных связей между компонентами вод, установление регрессионных зависимостей между ними и последующая отбраковка анализов проб воды, в которых соотношения между отдельными компонентами существенно отличаются от установленных регрессионных зависимостей.
- При наличии нескольких проб из одного интервала с учетом указанных выше процедур, а также с использованием сведений об условиях их отбора экспертно определяется наиболее достоверное значение.

В результате проведения вышеописанных процедур по каждому из рассматриваемых комплексов отложений было отбраковано от 10 до 15 % проб. В полной мере отделить достоверные анализы от ненадежных, к сожалению, невозможно. Поэтому при интерпретации имеющихся гидрогеохимических данных (даже после проведенной отбраковки) следует иметь в виду воздействие не только естественных, но и техногенных факторов, влияющих на состав водорастворенного комплекса отобранных проб.

### 3.2 Латеральные закономерности изменения гидрогеохимических условий

Несмотря на большое количество данных гидрохимических опробований в пределах рассматриваемой области, данные характеризуются крайне неравномерной изученностью, как в плане, так и по разрезу отложений. Наибольшей изученностью характеризуется северо-западная часть территории, где данные опробований приурочены преимущественно к месторождениям углеводородов, слабоизученными до сих пор остаются области на востоке и в южной части территории (рисунок 15 а).



**Рисунок 15 - Распределение проб подземных вод в плане (а) и по водоносным комплексам (б)**

(наименования тектонических элементов см. на подрисуночной подписи к рисунку 7)

В разрезе отложений наибольшее количество гидрохимических данных приурочено к неокомскому водоносному комплексу (56%), менее опробованы воды юрских отложений (34%), небольшим количеством представлены опробования апт-альб-сеноманского комплекса (9%), самыми малоизученными

являются подземные воды палеозойских отложений (рисунок 15 б). Такое распределение гидрохимической информации по водоносным комплексам объясняется наибольшей перспективностью в отношении углеводородов отложений неокомского и юрского возраста и как следствие их наибольшей изученностью.

### 3.2.1 Общая характеристика гидрогеохимических свойств подземных вод

Статистические характеристики по ионно-солевому и микрокомпонентному составу вод представлены в таблице 3. По средним показателям в пределах водоносных комплексов отмечается увеличение с глубиной минерализации подземных вод (соответственно натрия и хлора), гидрокарбоната, карбоната и брома. Воды неокомских отложений характеризуются более высоким содержанием кальция и йода.

**Таблица 3 - Средние значения параметров химического состава подземных вод**

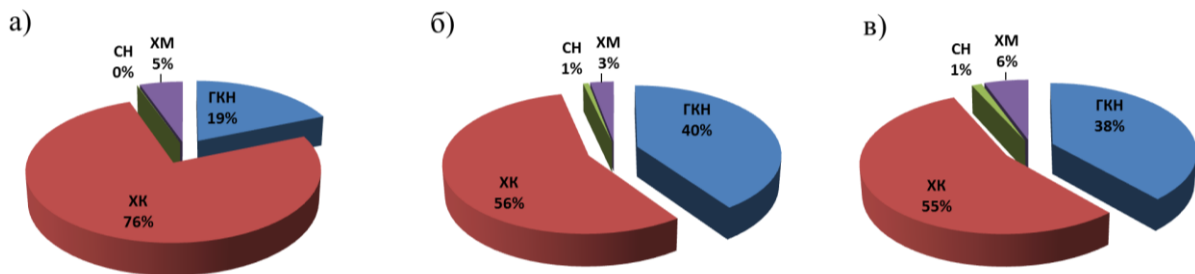
Компонент	Комплекс								
	апт-альб-сеноманский			неокомский			Юрский		
	Кол-во	Среднее	Вар., %	Кол-во	Среднее	Вар., %	Кол-во	Среднее	Вар., %
М, г/дм <sup>3</sup>	421	14,45	36,43	2753	18,47	35,57	1661	26,57	46,25
Na, мг/дм <sup>3</sup>	421	5010,57	36,86	2753	5937,33	35,82	1661	9265,55	46,49
K, мг/дм <sup>3</sup>	152	50,24	53,65	1522	85,81	54,98	874	151,64	52,99
Ca, мг/дм <sup>3</sup>	418	442,86	58,65	2751	1059,39	63,91	1660	782,56	73,43
Mg, мг/дм <sup>3</sup>	415	86,09	63,0	2710	40,78	113,3	1599	102,56	90,17
SO <sub>4</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	296	3,63	236,67	2599	11,65	243,07	1435	10,65	278,28
Cl, мг/дм <sup>3</sup>	421	8633,22	37,76	2753	10951,62	36,79	1661	15597,99	48,3
HCO <sub>3</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	418	251,3	69,8	2742	405,82	75,36	1651	744,66	48,84
I, мг/дм <sup>3</sup>	231	7,53	61,47	2581	8,56	56,45	1468	4,57	68,56
Br, мг/дм <sup>3</sup>	236	36,71	44,49	2581	46,77	38,60	1503	58,97	52,42
B, мг/дм <sup>3</sup>	186	6,67	82,86	2515	11,41	51,66	1367	8,08	63,50
CO <sub>3</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	318	2,79	303,52	2416	3,86	635,69	1313	5,32	413,92

Средние значения общей минерализации подземных вод и содержания в них отдельных водорастворенных компонентов лишь отчасти отражают сложный характер изменения гидрогеохимических условий в рассматриваемой области. Более информативным является коэффициент вариации, который по большинству основных параметров ионно-солевого и микрокомпонентного состава максимален для вод юрского комплекса. Очевидно, это свидетельствует о большей

вариативности процессов, определивших современное состояние гидрогеохимического режима этого комплекса.

Вместе с тем, обращает на себя внимание существенно пониженная вариация в содержании гидрокарбоната в водах юрского комплекса (48.8%, по сравнению с 69.8% и 75.4% в апт-альб-сеноманском и неокомском, соответственно) при том, что само содержание этого показателя значительно выше в водах юрских отложений (744.66 мг/дм<sup>3</sup>). По-видимому, в этом проявляются результаты воздействия общего мощного фактора, определившего высокую насыщенность вод отложений гидрокарбонатом, возможно связанного с особенностями преобразования органического вещества, формирования углеводов и их первичной миграцией из нефтематеринских пород.

По классификации В.А. Сулина подземные воды в пределах всех рассматриваемых комплексов преимущественно хлор-кальциевого состава (55-76%) и гидрокарбонатно-натриевого (19-40%), на остальные типы вод приходится менее 10% (рисунок 16).



**Рисунок 16 - Распределение проб подземных вод по классификации Сулина В.А.**

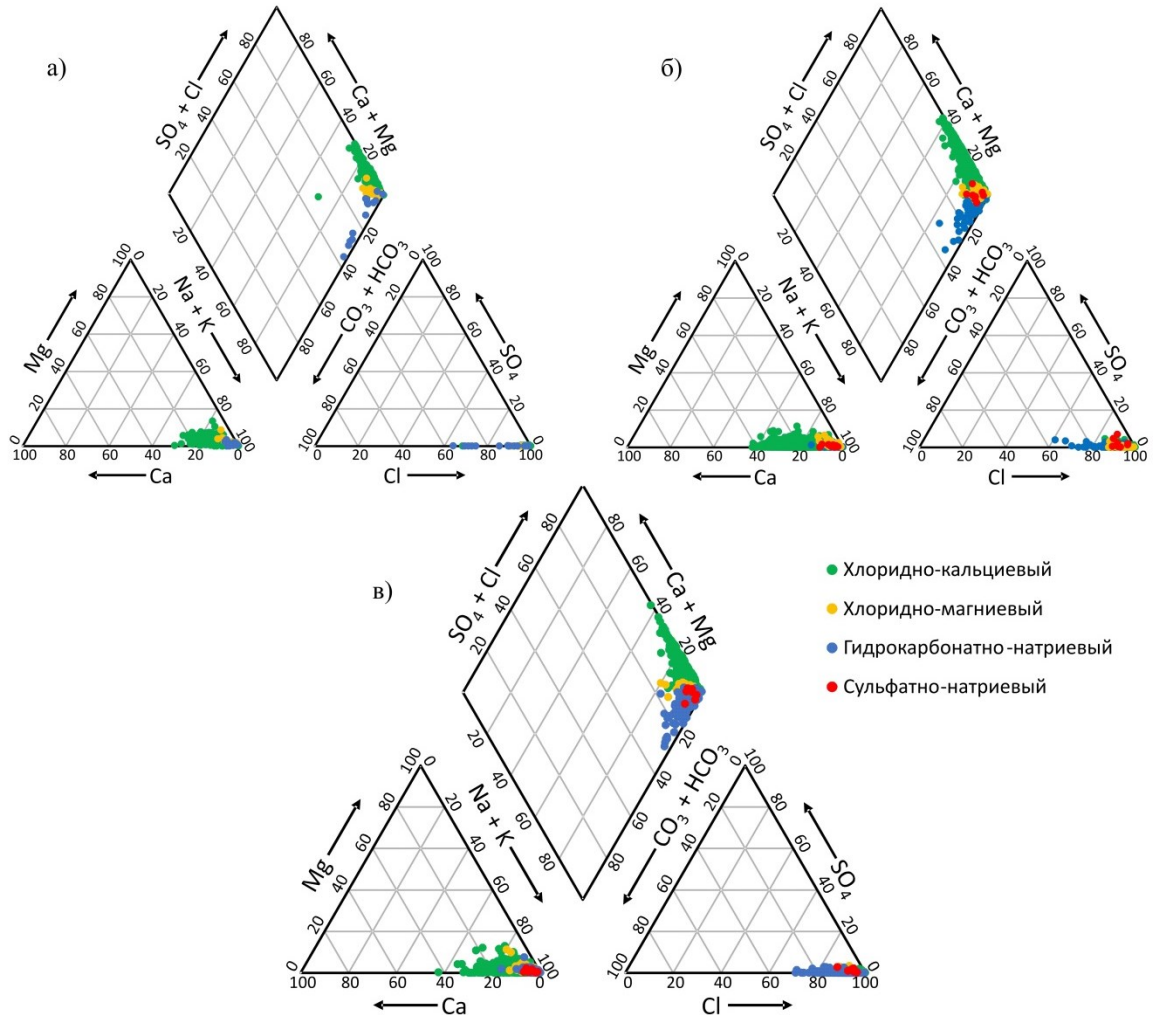
(комплексы: а – апт-альб-сеноманский, б – неокомский, в – юрский тип вод: ХК – хлоридно-кальциевый, ГКН – гидрокарбонатно-натриевый, СН – сульфатно-натриевый, ХМ - хлоридно-магниевый)

Содержание основных катионов – натрия, кальция, калия и магния, и анионов – хлора, гидрокарбоната, карбоната и сульфата представлено в виде диаграмм Пайпера на рисунке 17. Цветом на диаграммах отображена принадлежность химического анализа к типу вод по классификации В.А.Сулина.

На приведенных диаграммах отражается схожесть гидрогеохимического облика подземных вод рассматриваемых отложений. Преобладающими компонентами являются натрий (более 80%-экв) и хлор (60-100%-экв),



значительно меньше в водах гидрокарбоната и кальция (до 40%-экв) и менее 10 %-экв приходится на остальные показатели химического состава пластовых вод.



**Рисунок 17 - Диаграммы Пайпера для подземных вод**

*отложений: а – апт-альб-сеноманского, б – неокомского, в – юрского комплексов*

В целом подземные воды глубоких горизонтов в пределах рассматриваемой территории характеризуются достаточно большим количеством данных гидрогеохимических опробований, с высокой неравномерностью распределения информации, как в плане, так и в пределах отдельных водоносных горизонтов. Химический состав вод характеризуется схожестью содержания отдельных компонентов, как в пределах водоносных комплексов, так и между ними. По классификации В.А. Сулина подземные воды комплексов делятся практически на

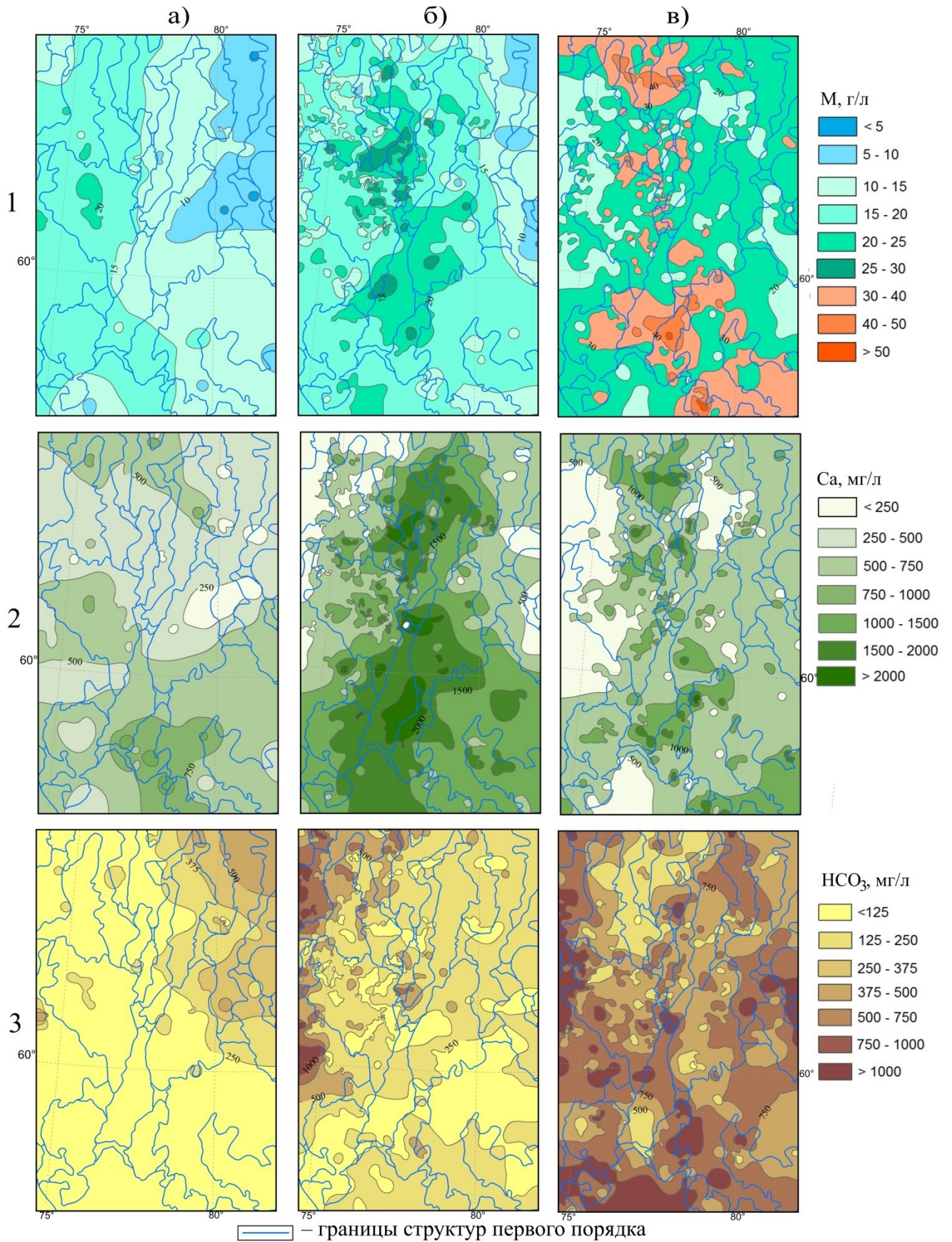
две группы хлор-кальциевого и гидрокарбонатно-натриевого типа, воды остальных типов представлены единичными опробованиями.

### *3.2.2 Картирование параметров химического состава подземных вод*

При построении карт, изменения основных параметров химического состава подземных вод рассматриваемой территории, одновременно с использованием данных гидрогеохимических опробований, в качестве дополнительной информации, учитывались результаты картирования химического состава подземных вод водоносных комплексов всего Западно-Сибирского бассейна (рисунки 3, 4) [83]. Это, во-первых, позволило достаточно детально отслеживать пространственные закономерности гидрогеохимических условий в области исследований, а во-вторых обеспечило их надежное согласование с закономерностями регионального уровня.

На рисунках 18 и 19 приведены результаты картирования общей минерализации подземных вод и содержания в них основных макро и микрокомпонентов. Карты по содержанию ионов натрия и хлора в работе не приводятся, поскольку они являются основными компонентами солевого состава вод и в значительной степени схожи с картами общей минерализации.

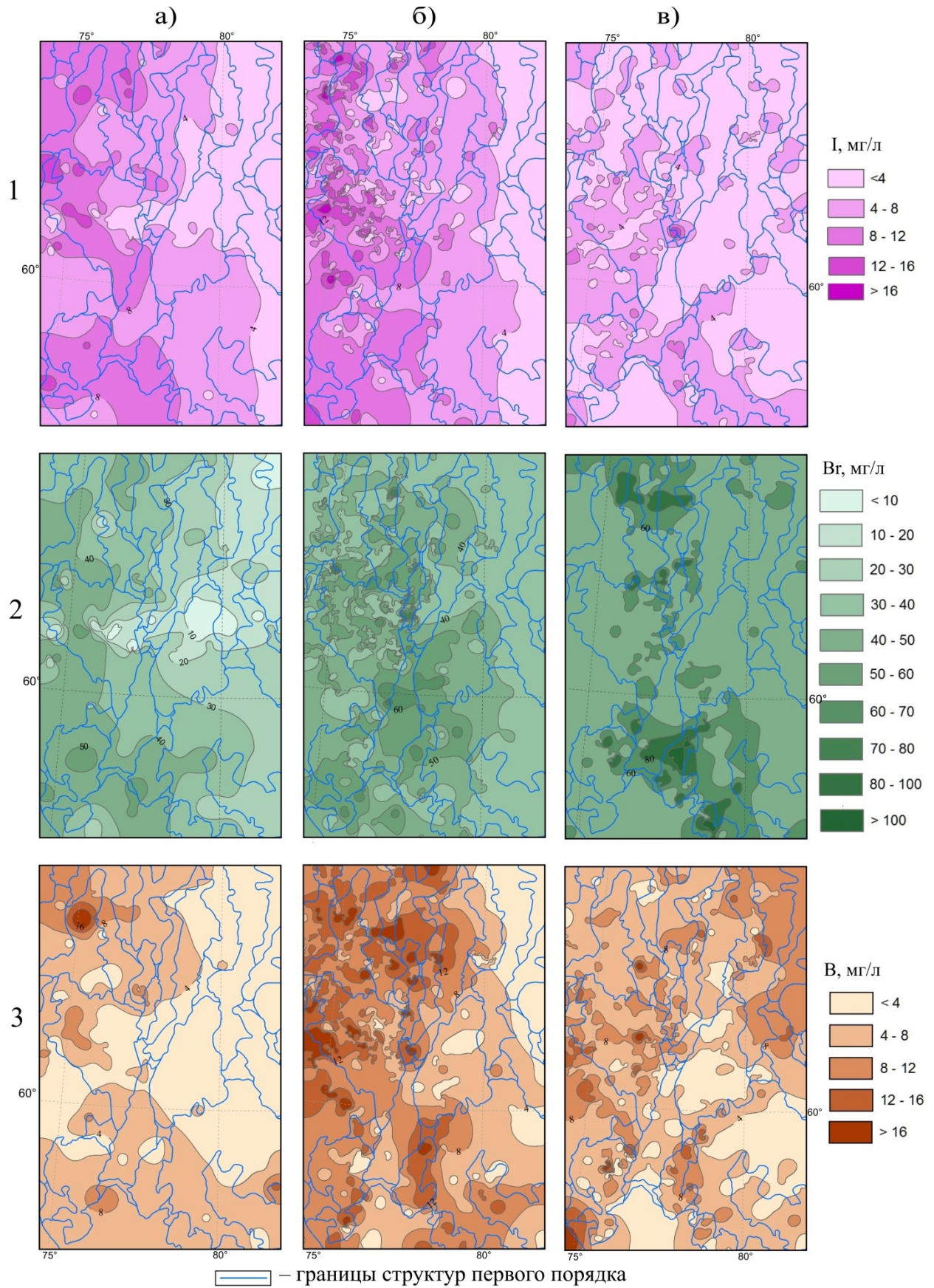
Значительный разброс значений минерализации и содержания кальция, гидрокарбоната и брома в пластовых водах отдельных водоносных комплексов, определяет картирование параметров с различным шагом изолиний. Так шаг изменения минерализации вод в апт-альб-сеноманском и неокомском комплексах принят равным  $5 \text{ г/дм}^3$ , в юрском –  $10 \text{ г/дм}^3$  (рисунок 18.1). По содержанию кальция и гидрокарбоната в апт-альб-сеноманском комплексе отмечаются более низкие значения соответственно шаг в два раза меньше, чем в неокомском и юрском (рисунок 18). По содержанию брома шаг изолиний вдвое больший, только в юрском комплексе (рисунок 19.2).



**Рисунок 18 - Минерализация подземных вод (1), содержание кальция (2) и гидрокарбоната (3) в подземных водах**

(а – апт-альб-сеноманских, б - неокомских, в - юрских отложений, наименования структур первого порядка см. на подрисуночной подписи к рисунку 7)





**Рисунок 19 - Содержание йода (1), брома (2) и бора (3) в подземных водах**  
 (а - апт-альб-сеноманских, б - неокомских, в - юрских отложений, наименования структур первого порядка см. на подрисуночной подписи к рисунку 7)

Подземные воды с максимальной минерализацией (более 20 г/дм<sup>3</sup>) в пределах апт-альб-сеноманского комплекса выделяются локальным участком в центральной части Нижневартовского свода (рисунок 18.1.а). Воды с минерализацией свыше 15 г/дм<sup>3</sup>, имеют более выдержанные области распространения, протягиваясь на севере вдоль западного борта Тагринского мегавала и северной части Колтогорского мегапрогиба и далее на юг территории захватывает южную часть Колтогорского мегапрогиба и Средневасюганского мегавала.

Зона с минерализацией от 10 до 15 г/дм<sup>3</sup> протягивается на севере территории относительно узкой полосой вдоль Толькинского мегапрогиба и сопредельных структурных элементов. И далее на юг захватывая северную область Колтогорского мегапрогиба резко расширяется занимая всю юго-восточную часть (рисунок 18.1.а). Воды с пониженной менее (10 г/дм<sup>3</sup>) минерализацией располагаются в северо-восточной области, восточнее Толькинского мегапрогиба.

Основную часть рассматриваемой территории в пределах неокомского комплекса занимают подземные воды с минерализацией более 15 г/дм<sup>3</sup> (рисунок 18.1.б). Зона с минерализацией менее 10 г/дм<sup>3</sup> расположена узкой полосой на северо-востоке и отдельными локальными участками. В центральной части рассматриваемого района от Средневасюганского мегавала на юге и до Вэнгапурского мегавала на севере протягивается область с соленостью больше 20 г/дм<sup>3</sup>, в пределах которой отдельными участками фиксируются максимальные значения более 25 г/дм<sup>3</sup> (рисунок 18.1.б).

Минерализация подземных вод юрского комплекса имеет более высокие значения. Основной фон минерализации более 20 г/дм<sup>3</sup>, с локальными зонами в 15-20 г/дм<sup>3</sup>. В пределах комплекса выделяются две достаточно выдержанные по простиранию области повышенных (более 30 г/дм<sup>3</sup>) значений минерализации (рисунок 18.1.в). Одна расположена в северной части рассматриваемого района и охватывает практически полностью Вэнгапурский мегавал, северную окраину Тагринского мегавала и большую часть Суторминской мегаседловины. Вторая

крупная зона протягивается через северо-восточную часть Каймысовского свода, южную половину Колтогорского мегапрогиба, далее прослеживается вдоль южных границ Александровского мегавала и на юго-востоке захватывает Пудинский и Парабельский мегавалы (рисунок 18.1.в). Так же в пределах рассматриваемой области отмечаются локальные участки с минерализацией вод более  $30 \text{ г/дм}^3$ , расположенные вдоль восточных границ Нижневартовского свода.

Максимальные содержания кальция в подземных водах апт-альб-сеноманских отложений до более  $750 \text{ мг/дм}^3$ , протягиваются от южной части Колтогорского мегапрогиба на юг до Пудинского мегавала и на восток до северной части Парабельского мегавала (рисунок 18.2.а). Воды с содержанием кальция более  $500 \text{ мг/дм}^3$  преобладают в юго-восточной части рассматриваемой территории от Каймысовского свода, до Пылькарминского и Парабельского мегавалов. Области подземных вод с содержанием кальция более  $500 \text{ мг/дм}^3$  отмечаются в пределах Нижневартовского свода, а также на севере территории до юго-западной части Бахировского мегавала (рисунок 18.2.а).

В неокомском водоносном комплексе фиксируется наибольшее содержание в водах кальция (рисунок 18.2). Область повышенного содержания кальция (более  $1500 \text{ мг/дм}^3$ ) протягивается от Нюрольской мегавпадины, захватывая Колтогорский мегапрогиб и значительные территории сопредельных положительных структурных элементов (Каймысовский свод, Средневасюганский и Александровский мегавалы). С небольшим разрывом (в районе южной части Толькинского мегапрогиба) эта область прослеживается и далее на север, охватывая значительные части Варьеганского, Тагринского и Бахировского мегавалов (рисунок 18.2.б). В северо-западном и восточном направлении от этой области отмечается снижение количества кальция в подземных водах до  $500 \text{ мг/дм}^3$  и менее.

Подземные воды юрского комплекса характеризуются значительной неоднородностью в содержании в них водорастворенного кальция. Некоторой выдержанностью характеризуется область от восточной части Юганской мегавпадины до Северо-Вартовской мегатеррасы с содержанием параметра менее

500 мг/дм<sup>3</sup> (рисунок 18.2.в). На остальной территории преобладают воды с не высокой концентрацией кальция 500-1000 мг/дм<sup>3</sup>, с многочисленными небольшими зонами более высоких значений параметра (более 1000 мг/дм<sup>3</sup>, рисунок 18.2.в).

Воды апт-альб-сеноманского комплекса на большей части изучаемой территории характеризуются невысокими концентрациями гидрокарбоната (менее 125 мг/дм<sup>3</sup>), повышение значений отмечается в северо-восточной части рассматриваемой территории от северной части Александровского и Толькинского мегапрогиба (рисунок 18.3.а).

Области с высоким содержанием гидрокарбонат-иона (более 750 мг/дм<sup>3</sup>) в водах неокомских отложений расположены в северо-восточной части Сургутского свода и восточной части Юганской мегавпадины (рисунок 18.3.б). Зона наименьших значений (менее 250 мг/дм<sup>3</sup>) протягивается от Каймысовского свода до южной части Александровского мегавала и далее на восток, захватывая большую часть Усть-Тымской мегавпадины. На остальной части территории комплекса преобладают воды с содержанием гидрокарбоната в количестве от 250 мг/дм<sup>3</sup> до 500 мг/дм<sup>3</sup> (рисунок 18.3.б).

Более высокие содержания гидрокарбоната отмечаются в подземных водах юрского комплекса, но при этом не просматривается явных трендовых закономерностей распространения параметра. Достаточно выдержанная область с низкими значениями параметра (менее 500 мг/дм<sup>3</sup>) протягивается в северной части рассматриваемого района, захватывая Пякупурский мегапрогиб и далее на север. На остальной территории отмечается увеличение показателя до 500 - 750 мг/дм<sup>3</sup>. Области с содержанием гидрокарбоната более 750 мг/дм<sup>3</sup> распространены на Сургутском своде, западном и юго-западном бортах Нижневартовского свода, в Юганской мегавпадине и далее эта зона расширяется на юг и юго-восток (Каймысовский свод, Нюрольская мегавпадина, Колтогорский мегапрогиб, Среднеवासюганский и Парабельский мегавалы, рисунок 18.3.в). В восточной части так же фиксируются повышенные значения в центральной части Усть-Тымской мегавпадины, на восточном борту Александровского, большей

части Бахилковского и Пылькарминского мегавалов и южной части Ларьеганского мегапрогиба.

Наименьшие концентрации йода в подземных водах апт-альб-сеноманского комплекса протягиваются полосой вдоль восточной границы рассматриваемой территории и обширным языком протягиваются в центральную область захватывая Южно-Толькинский прогиб и восточную часть Нижневартовского свода (рисунок 19.1.б). Области с высокими значениями (более 8 мг/дм<sup>3</sup>) расположены в западной части изучаемого района, разделены полосой (4-8 мг/дм<sup>3</sup>) протягивающейся от восточной части Юганской мегавпадины к северному борту Среднеvasюганского мегавала и расширяющейся в юго-восточном направлении.

В неокомском комплексе зона вод с пониженным менее 4 мг/дм<sup>3</sup> содержанием йода выдержанно прослеживается в субмеридиональном направлении вдоль восточной границы территории (рисунок 19.1.б). Воды с повышенной концентрацией йода (более 8 мг/дм<sup>3</sup>), приурочены к южной части Каймысовского свода, Колтогорского мегапрогиба, широко распространены на Среднеvasюганском мегавале, в Нюрольской и Юганской мегавпадинах, на значительной части Нижневартовского свода и прослеживаются на Сургутском своде и в северной части Северо-Вартовской мегатеррасы.

Подземные воды юрского комплекса характеризуются преимущественно не высокими содержаниями йода (менее 4 мг/дм<sup>3</sup>). Воды с концентрацией более 4 мг/дм<sup>3</sup> протягиваются от Пудинского мегавала и южной части Усть-Тымской мегавпадины, через Среднеvasюганский мегавал и южную половину Колтогорского мегапрогиба распространяются на значительную часть Каймысовского и Нижневартовского сводов и Юганской мегавпадины (рисунок 19.1.в). И лишь на отдельных локальных участках получены пробы с количеством водорастворенного йода более 8 мг/дм<sup>3</sup>.

В содержании в водах микрокомпонентов йода и брома можно отметить некоторые общие черты. Наиболее это характерно для вод апт-альб-сеноманского комплекса. Обширная область повышенной (более 40 мг/дм<sup>3</sup>) концентрации



брома распространена на западе рассматриваемой территории (рисунок 19.2а), а зона с содержанием рассматриваемого компонента менее  $20 \text{ мг/дм}^3$  занимает северо-восточную часть территории и вклинивается в центральную часть Нижневартковского свода.

В водах неокомских отложений преобладает повышенное (более  $40 \text{ мг/дм}^3$ ) содержание брома (рисунок 19.2.б). Области с меньшим количеством водорастворенного брома (менее  $40 \text{ мг/дм}^3$ ) отмечаются вдоль восточной части территории, на Северо-Вартовской мегатеррасе и на севере Сургутского свода. Можно отметить так же отдельные участки с концентрацией параметра более  $50 \text{ мг/дм}^3$  на территории Средневасюганского и Александровского мегавалов, Колтогорского и Тюменского мегапрогибов, Нижневартковского свода (рисунок 19.2.б).

Преобладающие концентрации брома в подземных водах юрских отложений не превышают  $60 \text{ мг/дм}^3$ , области более высоких значений показателя ( $80 \text{ мг/дм}^3$  и более) прослеживаются южной и северной частях территории, с отдельными участками в центральной части. Южная область протягивается от Пудинского мегавала через Средневасюганский мегавал, до северо-восточной части Каймысовского свода, а так же полосой вдоль северной части Парабельского мегавала до Александровского мегавала (рисунок 19.2.в) Северная область охватывает северную часть Северо-Вартовской мегатеррасы, юга Вэнгапурского и севера Тагринского мегавалов.

По содержанию бора в апт-альб-сеноманском комплексе выделяются две области повышенной концентрации компонента более  $4 \text{ мг/дм}^3$ . Первая охватывает Парабельский, Пудинский, Средневасюганский мегавалы, Колтогорский мегапрогиб, Каймысовский свод, восточную часть Юганской мегавпадины и небольшую часть на юге Нижневартковского свода. Вторая прослеживается от западной части Нижневартковского свода и севера Сургутского свода до центральной части Толькинского мегапрогиба на востоке (рисунок 19.3.а). Область между этими зонами характеризуется пониженными (менее  $4 \text{ мг/дм}^3$ ) содержаниями брома, и протягивается на северо-восток территории.

Содержание бора в пластовых водах неокомского комплекса имеет более высокие значения и на значительной территории превышает  $8 \text{ мг/дм}^3$ . Можно отметить достаточно крупные зоны с концентрациями бора более  $12 \text{ мг/дм}^3$ , в северо-западной части территории, а также отдельные локальные участки Каймысовском своде, Средневасюганском, Пудинском и Парабельском мегавалах (рисунок 19.3.б).

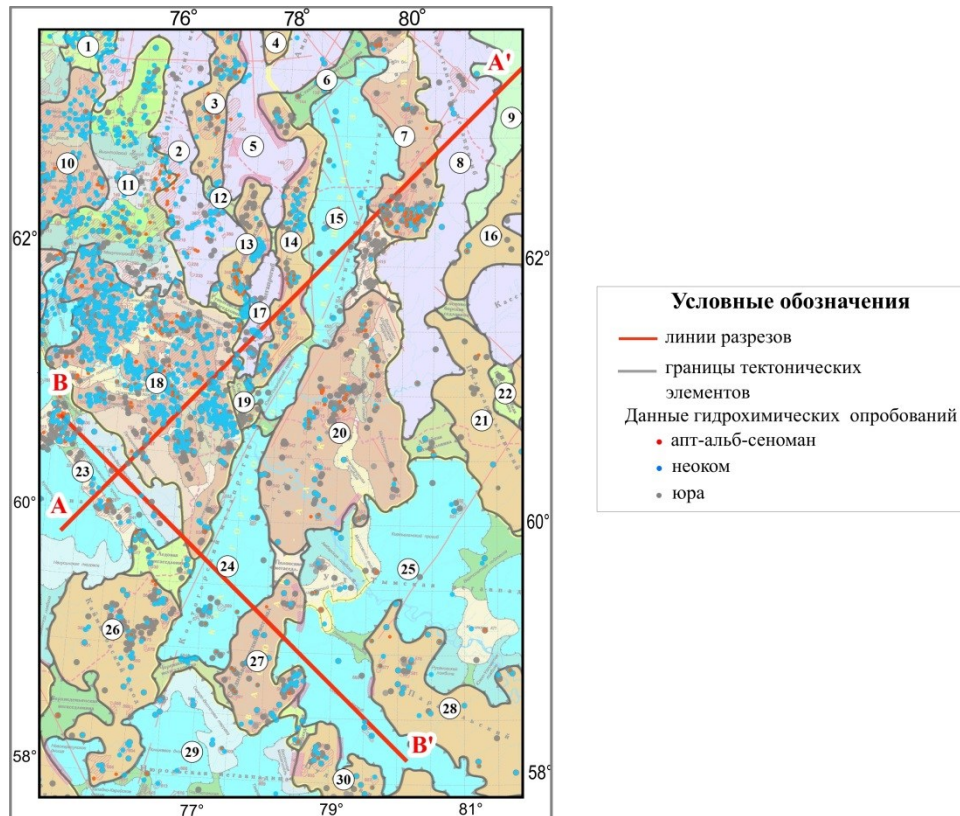
В юрских отложениях отмечается преобладание подземных вод с содержанием бора более  $4 \text{ мг/дм}^3$  (рисунок 19.3.в). Области с наименьшими содержаниями компонентов (менее  $4 \text{ г/дм}^3$ ) отмечаются на большей части Усть-Тымской и Нюрольской мегавпадин, а так же в южной части Александровского мегавала. В зонах повышенных концентраций компонента в водах (более  $8 \text{ мг/дм}^3$ ), на западе и юге территории, отмечаются схожие черты с расположением зон повышенных значений параметра в неокомском комплексе. Но в отличие от неокомского комплекса к северо-востоку от Александровского мегавала содержание бора в водах юрских отложений увеличивается и достигает  $8 \text{ мг/дм}^3$  и более (рисунок 19.3.в).

В целом по представленным результатам картирования минерализации подземных вод и содержания в них отдельных компонентов химического состава, не наблюдается явных общих закономерностей их изменения. Это отмечается по существенному различию карт показателей в пределах каждого водоносного комплекса, так и по различию расположения зон общности по содержанию отдельных компонентов между различными водоносными отложениями.

### **3.3 Изменение гидрохимических свойств по разрезу отложений**

Для анализа гидрогеохимических условий глубоких отложений по разрезу, использован метод построения гидрохимических разрезов с учетом структурно-литологических особенностей отложений, описание которого приведено в разделе 2.2. В пределах исследуемой области построены два гидрогеохимических разреза изменения минерализации и основных компонентов химического состава

подземных вод, по линиям, представленным на рисунке 20. Разрезы пересекают две наиболее крупные структуры первого порядка - Колтогорский и Толькинский мегапрогибы. Линия разреза А-А' протягивается с запада территории на северо-восток, проходит через центральную часть Толькинского мегапрогиба, а линия В-В' простирается с запада на юго-восток области и характеризует среднюю часть Колтогорского мегапрогиба.



**Рисунок 20 - Обзорная карта линий разрезов**

(наименования тектонических элементов см. на подрисуночной подписи к рисунку 7)

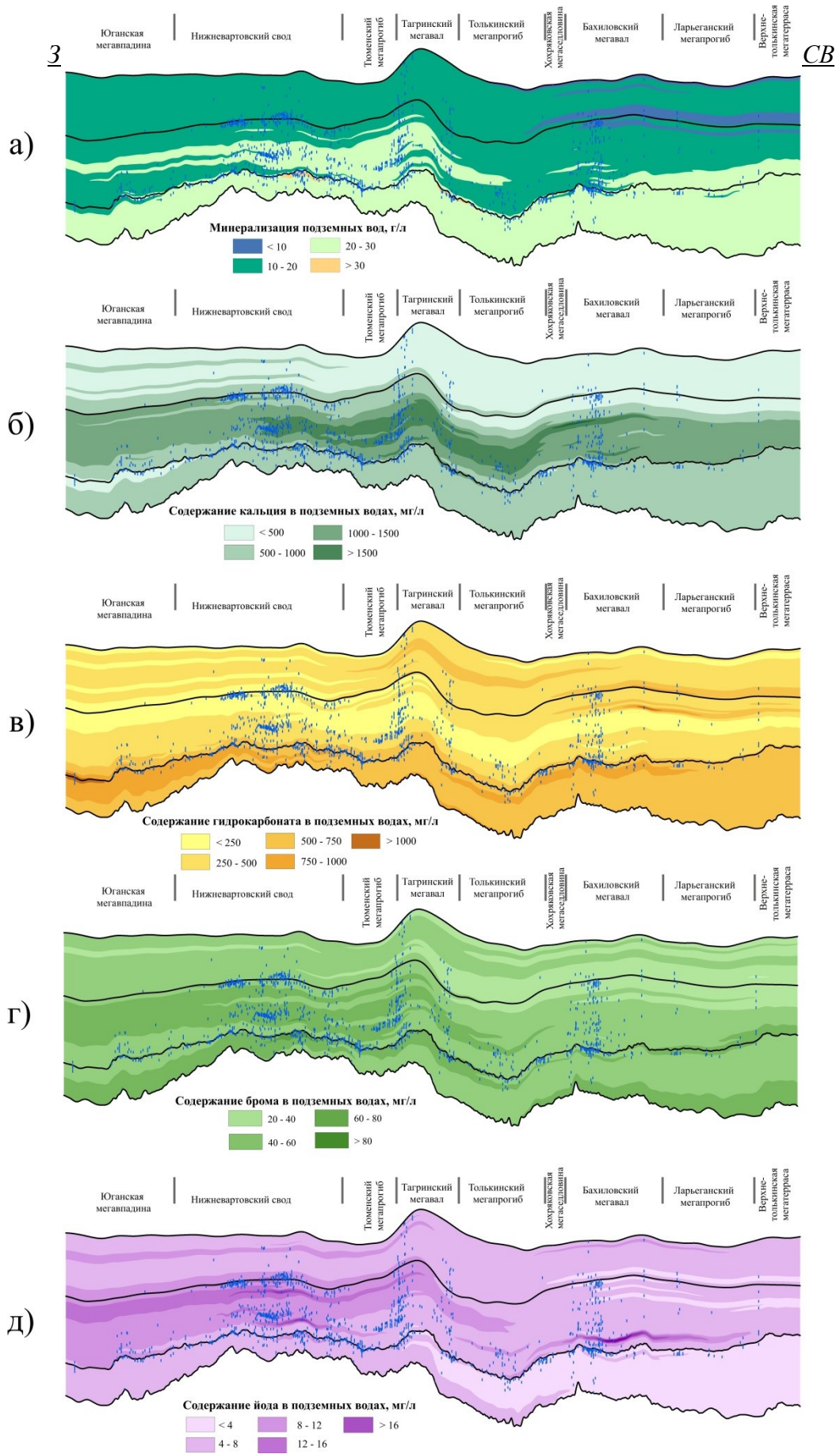
Гидрогеохимические разрезы в условиях существенной неравномерности опробований по площади и глубине, выполнены с учетом структурно-литологического строения отложений. При построении учитывались данные, расположенные на удалении до 50 км от разреза. Для учета удаленности проб от разреза применен весовой коэффициент, уменьшающийся от 1 до 0 при удалении от линии разреза. При построении гидрогеохимического разреза А-А' учитывались данные по 1669 опробованиям из 700 скважин, а по линии разреза В-В' в построении использованы данные 517 опробований из 248 скважин.

На рисунках 21 - 22 приведено изменение минерализации подземных вод, а так же содержание в водах макрокомпонентов - кальция, гидрокарбоната и микрокомпонентов - брома и йода по рассматриваемым линиям разрезов. На разрезах черными линиями обозначены структурные планы основных водоносных комплексов сверху вниз: апт-альб-сеноманский, неокомский и юрский. Над линиями разрезов подписаны наименования тектонических элементов первого порядка, по которым проходят линии разрезов.

По линии разреза А-А' отмечается различие в изменении параметра минерализации в водах апт-альб-сеноманских и неокомских отложений в западной и северо-восточной частях разреза, границей является Толькинский мегапрогиб. Северо-восточная часть разреза апт-альб-сеноманского и верхней части неокомского комплекса характеризуется минерализацией 10-20 г/дм<sup>3</sup>. Выдержанная область повышенных значений (до 20-30 г/дм<sup>3</sup>) в неокомских отложениях наблюдается на территории Юганской мегаседловины в средней части комплекса, а далее на север по линии разреза, её мощность увеличивается до подошвы комплекса (Тюменский мегапрогиб и Тагринский мегавал, рисунок 21,а).

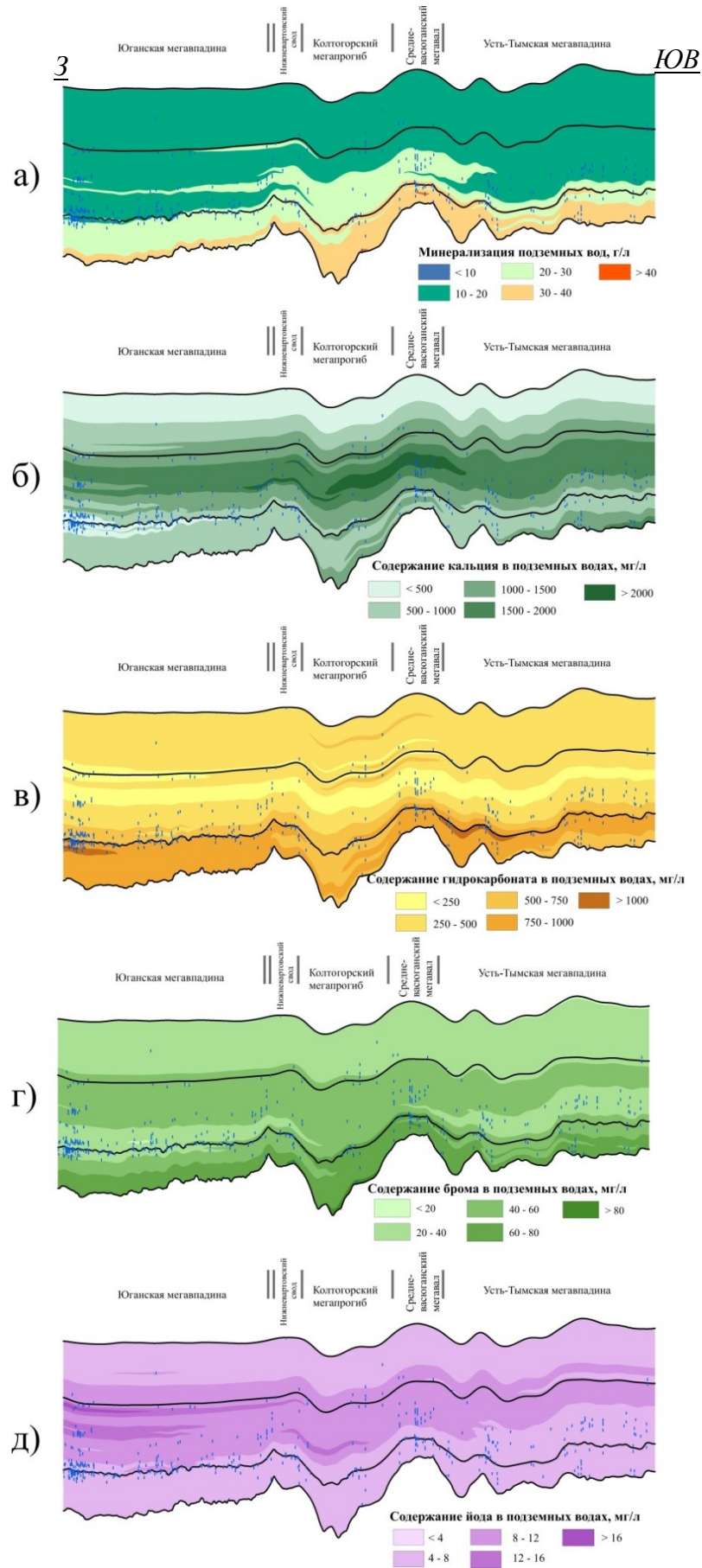
Северо-восточная часть разреза в апт-альб-сеноманских и неокомских отложениях характеризуется минерализацией вод 10-20 г/дм<sup>3</sup>, с выдержанными прослоями до 10 г/дм<sup>3</sup> вдоль кровли неокомского комплекса. Увеличение минерализации вод до 20-30 г/дм<sup>3</sup> отмечается только по подошве отложений северо-восточнее Бахиловского мегапрогиба. Воды юрских отложений по всему разрезу преимущественно с минерализацией 20-30 г/дм<sup>3</sup> (рисунок 21,а).

Содержание в подземных водах кальция в апт-альб-сеноманском комплексе составляет менее 500 мг/дм<sup>3</sup> с единичными прослоями более 500 мг/дм<sup>3</sup> на территории Нижневартовского свода. В неокомских отложениях отмечается увеличение показателя до более 1000 мг/дм<sup>3</sup>. Область максимальных содержаний в водах кальция (более 1500 мг/дм<sup>3</sup>) фиксируется в средней части неокомских отложений от центральной области Нижневартовского свода до Ларьеганского прогиба (рисунок 21 б).



**Рисунок 21 - Изменение компонентов химического состава по разрезу А-А'**  
(а – минерализация, б – кальций, в – гидрокарбонат, г – бром, д – йод)





**Рисунок 22 - Изменение компонентов химического состава по разрезу В-В'**  
(а – минерализация, б – кальций, в – гидрокарбонат, г – бром, д – йод)

Юрские воды характеризуются концентрацией кальция не превышающей 1000 мг/дм<sup>3</sup>.

Основной фон концентрации гидрокарбоната в водах апт-альб-сеноманского комплекса составляет 250-500 мг/дм<sup>3</sup>, с прослоями менее 250 мг/дм<sup>3</sup> на территории Нижневартковского свода. В неокомском комплексе отмечается выдержанная область пониженных значений компонента (до менее 250 мг/дм<sup>3</sup>) протягивающаяся в верхней части отложений на западе территории и северо-восточнее Тагринского мегавала зона занимает уже среднюю часть неокомских отложений. Количество гидрокарбоната в юрских отложениях до 500-750 мг/дм<sup>3</sup> (рисунок 21, в).

Изменение брома и йода в подземных водах по линии разреза имеет схожие с минерализаций закономерности. Можно отметить большее содержание компонентов в водах западной части разреза и уменьшение их концентраций в северо-восточной части разреза (рисунок 21, г).

В пределах Юганской мегавпадины по кровле юрских отложений увеличивается содержание гидрокарбоната до 750-100 мг/дм<sup>3</sup>, количество кальция уменьшается до менее 500 мг/дм<sup>3</sup> и значительно меньшее содержание брома в этой области менее 10 мг/дм<sup>3</sup> (рисунок 21 б, в, г). В средней части Нижневартковского свода, вдоль кровли юрского комплекса, отмечается увеличение минерализации подземных вод до более 30 г/дм<sup>3</sup> и отдельных компонентов химического состава - кальция до 1000-15000 мг/дм<sup>3</sup>, брома до 80 мг/дм<sup>3</sup> и йода до 8-12 г/дм<sup>3</sup> (рисунок 21 а, б, г, д). По гидрокарбонату в этой области видимых различий в содержании компонента не наблюдается.

Изменение минерализации подземных вод и параметров химического состава по разрезу В-В' имеет тенденции схожие с разрезом А-А'. Содержание компонентов химического состава вод по разрезу А-А' в пределах Юганской мегавпадины аналогично их изменению по разрезу В-В', поэтому описание этой области не приводится.

По разрезу В-В' отмечается увеличение минерализации с глубиной отложений от 10-20 г/дм<sup>3</sup> в отложениях апт-альб-сеноманского возраста, до

30 - 40 г/дм<sup>3</sup> в юрском комплексе (рисунок 22а). Содержание кальция в водах увеличивается от менее 500 мг/дм<sup>3</sup> в апт-альб-сеноманском комплексе, до 1500 - 2000 мг/дм<sup>3</sup> в неокомском, с максимальными значениями в пределах Средневазюганского мегавала до более 2000 мг/дм<sup>3</sup> (рисунок 22 б). Содержание гидрокарбоната в водах апт-альб-сеноманских отложений составляет 250-500 мг/дм<sup>3</sup>, с глубиной концентрация уменьшается в средней части неокомского комплекса до менее 250 мг/дм<sup>3</sup>, и увеличивается в отложениях юры до 750 - 1000 мг/дм<sup>3</sup>, максимальные значения фиксируются в западной части Усть-Тымской впадины (рисунок 22 в).

Количество брома в водах апт-альб-сеноманских отложений составляет 20-40 мг/дм<sup>3</sup>, с глубиной содержание компонента увеличивается до 40-60 мг/дм<sup>3</sup> в неокомских отложениях и до 60-80 мг/дм<sup>3</sup> в юрских (рисунок 22 г). В области Юганской и Усть-Тымской мегавпадин, в нижней части неокомских отложений, наблюдается уменьшение концентрации брома до 20-40 мг/дм<sup>3</sup>.

Основная концентрация в подземных водах йода по разрезу отложений составляет 4-8 мг/дм<sup>3</sup>, увеличение параметра отмечается в неокомских отложениях до 8-12 мг/дм<sup>3</sup>, с единичными прослоями повышенных значений (до 12-16 мг/дм<sup>3</sup>) в верхней части неокомских отложений Юганской мегавпадины (рисунок 22 д).

По выполненным разрезам можно отметить не значительное влияние региональной грабен-рифтовой системы на содержание основных компонентов водорастворенного комплекса подземных вод. Так по линии разреза А-А' пересекающей Толькинский мегапрогиб, наблюдается различие по минерализации и менее четко просматривается по содержанию брома и йода в апт-альб-сеноманском и неокомском комплексах, по разные стороны мегапрогиба (рисунок 21 а, г), по остальным компонентам различий в их содержании по разрезу отложений не отмечается. По линии разреза В-В' пересекающей Колтогорский мегапрогиб, различия в химическом составе можно отметить только по содержанию кальция в средней части неокомских отложений в западном направлении от мегапрогиба.

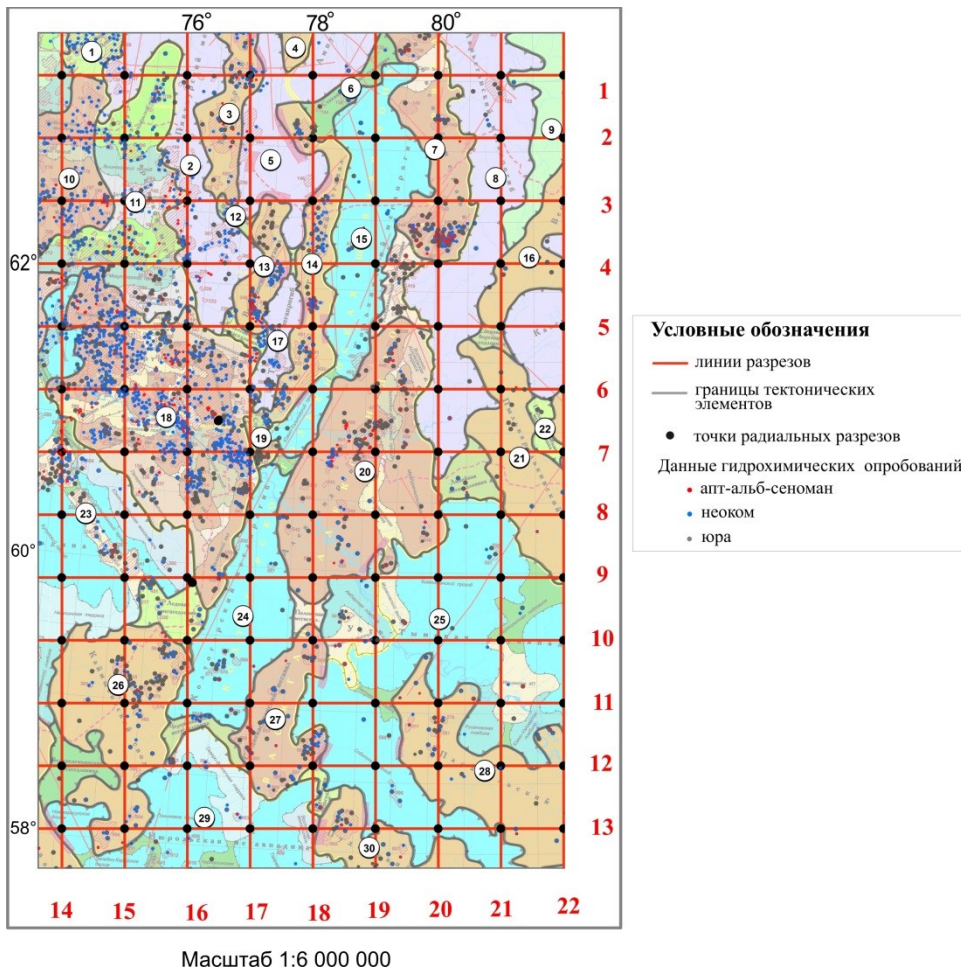


Используемый метод построения гидрогеохимических разрезов, учитывающий достаточно большое количество данных вдоль линии разреза, дает достаточно общую характеристику изменения параметров состава подземных вод по разрезу отложений и в полной мере не дает возможность оценить сложное изменение содержания компонентов химического состава вод. Для более подробного анализа изменения химического состава подземных вод с достаточно сложными гидрогеологическими, геологическими и тектоническими условиями территории, далее выполнено построение трехмерной модели гидрогеохимического поля глубоких горизонтов.

### **3.4 Квazitрехмерная гидрогеохимическая модель района**

В качестве основы для построения квазитрехмерной гидрогеохимической модели выбранного района исследований выполнены расчёты условно-радиальных профилей по сетке с шагом 50 км (рисунок 23). Всего построено 117 условно-радиальных профилей, по основным параметрам ионно-солевого состава подземных вод – минерализации, кальцию, гидрокарбонату, йоду и бромю.

По данным результатов расчетов радиальных профилей выполнено построение тринадцати гидрогеохимических разрезов субширотного простирания и девять разрезов характеризующих область в субмеридиональном направлении (рисунок 23). А так же выполнено построение серии карт изменения параметров в пределах отдельных выделенных геологических стратонов рассматриваемых водоносных горизонтов.



**Рисунок 23 - Обзорная карта**

(наименования тектонических элементов см. на подрисуночной подписи к рисунку 7)

### 3.4.1 Результаты моделирования гидрогеохимических условий

Результаты построения закономерностей изменения минерализации и содержания отдельных компонентов химического состава подземных вод, а также изменение коэффициента устойчивости (характеризующего обеспеченность данными гидрохимическими опробованиями) по линиям разрезов представлены в приложениях А и Б. В приведенных построениях, цветовая палитра изменения содержания отдельных параметров химического состава подземных вод, отличается от приведенных в разделе 3.2.2 карт изменения компонентов, поскольку по разрезу отложений отмечается более высокая изменчивость значений.

Направление линий разрезов (слева направо) для субширотного простирания соответствует направлению с запада на восток и для

субмеридионального направления - с юга на север. В верхней части разрезов, для обеспечения возможности совместного анализа результатов построения с особенностями тектонического строения изучаемой области, вертикальными синими линиями отмечено расположение точек, в которых выполнены построения условно-радиальных профилей (расположение точек в плане отражено на рисунке 23).

Черными линиями на гидрогеохимических разрезах отмечена глубина залегания основных структурных планов – кровли апт-альб-сеноманских, неокомских, юрских отложений и фундамента. Мощности апт-альб-сеноманского и неокомского комплексов на всей рассматриваемой территории имеют незначительные колебания, а в отложениях юрского возраста отмечается увеличение мощности толщи с юга на север.

Результаты картирования коэффициента устойчивости отражают неравномерность расположения гидрохимических опробований в рассматриваемой области исследований. При изучении гидрогеологических условий глубоких водоносных горизонтов бассейна используются результаты анализа проб подземных вод отобранных из поисково-разведочных скважин, в которых, как правило, проводится полный химический анализ. Используемые при построении квазитрехмерной модели района данные минерализации и компоненты макро- и микрокомпонентного состава ( $\text{Ca}$ ,  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{I}$  и  $\text{Br}$ ) определяются практически всегда в полном объеме для каждого анализа за редким исключением, поэтому изменение коэффициента устойчивости по разрезам для всех компонентов имеет схожие закономерности, отличаясь незначительно. Поэтому описание этого параметра приводится только по расчетам радиальных профилей минерализации подземных вод (приложение А, рисунок 1.б).

Наиболее обеспечена данными гидрохимических опробований северо-западная и западная части изучаемой территории, на востоке и юге области количество анализов значительно уменьшается, при этом основная часть данных приурочена к южной части Бахилковского мегавала, Александровскому и

Средневазюганскому мегавалам и Каймысовскому своду.

Распределение гидрогеохимической информации в пределах отложений на выделенной области имеет тенденции характерные для всего Западно-Сибирского бассейна – наиболее изучен неокомский водоносный комплекс, менее изучены воды юрских отложений и наименьшей изученностью характеризуются апт-альб-сеноманские воды. Соответственно этому коэффициент устойчивости имеет наименьшие значения в пределах отложений апт-альб-сеноманского комплекса, максимально увеличивается в отложениях неокомского и верхней части юрского комплексов и далее с глубиной уменьшается.

Подземные воды апт-альб-сеноманских отложений наиболее обеспечены данными гидрохимических опробований в западной и центральной частях области исследований с преобладанием коэффициента устойчивости равного 0,2-0,4, в южном и восточном направлении отмечается снижение количества опробований и снижение устойчивости до менее 0,2. Северо-западная часть территории (линии разрезов 1-7 и 14-18) в отложениях неокома и вдоль кровли юрских отложений характеризуются высокими значениями коэффициента устойчивости до 0,4-0,6 и более. В южном и восточном направлении значения устойчивости в неокомских и юрских отложениях уменьшаются до 0,2-0,4 (линии разрезов 8-13 и 19-22).

В целом выполненные построения квазитрехмерной модели изменения минерализации подземных вод и отдельных компонентов химического состава рассматриваемой области имеют схожие закономерности в изменении параметров с приведенными ранее картами по отдельным водоносным комплексам (рисунки 18 - 19). Но при этом наблюдается более полная характеристика изменчивости параметров по разрезу отложений, поэтому в этой главе приводятся описания отдельных областей наиболее выделяемых при картировании данных гидрохимических опробований по всему комплексу.

Изменение минерализации подземных вод по линиям субширотных разрезов 1-13 и субмеридиональных разрезов 14-22 представлены в приложении А (рисунки 1-3). Необходимо отметить, что значения параметра минерализации в

апт-альб-сеноманском значительно меньше, чем в нижележащих комплексах, поэтому при картировании параметра минерализации использован различный шаг изолиний (рисунок 18). На приведенных в приложении А линиях разрезов выбран единый шаг изменения параметра равный  $10 \text{ г/дм}^3$ , соответственно в изменении параметра в отложениях апт-альб-сеномана отмечается низкая дифференцированность.

Поэтому подземные воды западной части территории в пределах апт-альб-сеноманских отложений по всем линиям разрезов характеризуется относительно постоянными значениями показателя минерализации около  $10\text{-}20 \text{ г/дм}^3$ , с редкими единичными пропластками менее  $10 \text{ г/дм}^3$  в области Каймысовского свода и более  $20 \text{ г/дм}^3$  на территории Сургутского свода и Северо-Вартовской мегатеррасы. В восточном направлении наблюдается увеличение мощности пропластков с минерализацией менее  $10 \text{ г/дм}^3$ , вплоть до распространения низких минерализаций по всей мощности отложений вдоль восточной границы территории, при этом область характеризуется очень низкими значениями коэффициента устойчивости.

Область повышенных минерализаций подземных вод неокомского комплекса, в центральной части территории (от Средневасюганского мегавала на юге и до Вэнгапурского мегавала на севере), обусловлены наличием высокоминерализованных вод ( $\text{более } 20 \text{ г/дм}^3$ ) в средней и нижней частях отложений. В северном направлении единая зона повышенных минерализаций разделяется на отдельные пропластки и приурочена к верхней части отложений. В южной части зона исчезает совсем (линии разрезов 12-13).

Подземные воды юрского комплекса с повышенными минерализациями в северной части рассматриваемой территории (от Вэнгапурского мегавала до Суторминской мегаседловины), охарактеризованы высокими значениями параметра преимущественно в верхней части отложений. Отмечаются отдельные прослой солёности вод  $\text{более } 40 \text{ г/дм}^3$ . В нижней части отложений этой области, отмечается уменьшение минерализации, при этом наблюдается низкая надёжность построений (коэффициент устойчивости менее 0,2).

Вторая зона повышенных значений минерализации подземных вод в южной части района исследований от северо-восточной части Каймысовского свода просматривается в пределах всей толщи, с уменьшением мощности (в средней части) в сторону Пудинского и Парабельского мегавалов.

Изменение содержания кальция в подземных водах по линиям разрезов представлены в приложении А на рисунках 4-6. В целом по представленным разрезам, изменение содержания кальция в подземных водах отложений имеет такие же закономерности как по картам изменения параметра в пределах водоносных комплексов. Но можно отметить, что верхняя часть апт-альб-сеноманских отложений характеризуется наименьшим содержанием в водах кальция (менее  $500 \text{ мг/дм}^3$ ), увеличение до более  $500 \text{ мг/дм}^3$  в северной части обусловлено наличием высокого содержания компонента в средней части отложений, а в южной области повышенные значения приурочены к нижней части отложений.

Области повышенных концентраций кальция в водах неокомского комплекса в центральной части территории, отмеченные на рисунке 18.2.б, приурочены большей частью к средней части комплекса, а зоны наименьших значений параметра в северо-восточной части обусловлены уменьшением в нижних частях отложений. Неоднородность содержания кальция в водах юрского комплекса, отмечаемая при картировании параметра в пределах отложений, определяется большей частью наличием отдельных опробований, которые при построении изменения параметра по разрезу так же просматриваются в виде отдельных пропластков.

Количество водорастворенного гидрокарбонат-иона по рассматриваемым линиям разрезов показаны в приложении А на рисунках 7-9. Отличием в построении изменения содержания гидрокарбонат-иона в водах апт-альб-сеноманских отложений по приведенным линиям разрезов, является наличие небольшого прослоя с концентрацией параметра более  $500 \text{ мг/дм}^3$ , в средней части отложений протягивающегося в южной части территории. При этом по карте изменения параметра в этой области не наблюдается наличие этой зоны, что

связано с осреднением данных при картировании информации по достаточно мощной толще отложений (рисунок 18.3.в). Увеличение содержания в водах гидрокарбоната на северо-востоке территории (восточнее Толькинского мегапрогиба), обусловлено повышенной концентрацией его в средней и нижней частях отложений.

Подземные воды с содержанием гидрокарбоната до  $500 \text{ мг/дм}^3$  в неокомском комплексе являются преобладающими, что так же наблюдается по картированию территории (рисунок 18.3.б). Зоны с увеличением концентрации компонента в водах вдоль западной границы и на северо-западе территории определяются наличием повышенных концентраций в нижней части комплекса и вдоль подошвы отложений.

По линиям разрезов 1 и 2 в северной части территории содержание гидрокарбоната в водах юрского комплекса уменьшается с глубиной, от более  $750 \text{ мг/дм}^3$  вдоль кровли отложений до менее  $500 \text{ мг/дм}^3$  в нижней его части. В южном направлении отмечается увеличение мощности зон с содержанием более  $750 \text{ мг/дм}^3$ , и появление участков в средней части отложений с более высокими (более  $1000 \text{ мг/дм}^3$ ) концентрациями параметра. Области высоких значений гидрокарбоната в подземных водах в западной части территории (от Сургутского свода до Юганской мегавпадины), обусловлены повышенными концентрациями параметра практически по всему разрезу, с увеличением до более  $1500 \text{ мг/дм}^3$  в нижней части отложений.

Содержание в подземных водах йода по линиям разрезов приведены в приложении А на рисунках 10-12. Восточная часть рассматриваемой территории по содержанию йода в апт-альб-сеноманских отложениях характеризуется наименьшими значениями в пределах всей толщи отложений. В западном направлении увеличение параметра в целом по комплексу (рисунок 19.1.а), определяется увеличением прослоев с более высоким содержанием компонента. Аналогичные закономерности отмечаются и в пределах неокомского комплекса. Подземные воды юрского комплекса характеризуются пониженными концентрациями йода (менее  $8 \text{ мг/дм}^3$ ), в центральной части Усть-Тымской



мегавадины можно отметить наличие прослоев с повышенными содержаниями компонента до более 12 мг/дм<sup>3</sup> (линии разрезов 19-20).

Изменение содержания водорастворенного брома в водах отложений по рассматриваемым линиям разрезов представлено в приложении А на рисунках 13-15. Схожие закономерности изменения йода и брома в апт-альб-сеноманских отложениях отмечаемые по картированию данных гидрохимических опробований (рисунок 19), имеют различия в изменении параметров по разрезу. По содержанию брома отмечается увеличение параметра с востока (20-40 мг/дм<sup>3</sup>) на запад территории (более 40 мг/дм<sup>3</sup>) при одинаковых значениях параметров в пределах всего комплекса, с переслаиванием прослоев с различными значениями в центральной части.

Области повышенных значений брома (более 60 мг/дм<sup>3</sup>) в подземных водах неокомского комплекса выделяемых в плане (рисунок 19.2.б), приурочены к прослоям с повышенным содержанием параметра в средней части комплекса. Зоны пониженных значений параметра (20-40 мг/дм<sup>3</sup>) выделяемые на северо-востоке и востоке территории преимущественно расположены вдоль кровли и подошвы отложений.

В водах юрского комплекса зоны наиболее высоких содержаний брома (более 80 мг/дм<sup>3</sup>) в северной части приурочены к верхнеюрским отложениям, а области, выделяемые в южной части территории, распространены по всей тоще отложений.

Выполненные построения свидетельствуют о надежности и относительной простоте рассмотренного метода построения согласованной квазитрехмерной модели гидрогеохимического поля глубоких отложений исследуемой области. Применение при анализе гидрогеологических условий глубоких водоносных горизонтов квазитрехмерных моделей изменения химического состава, не исключает использования обычных карт, но дополняет их и обеспечивает возможность наиболее полного и всестороннего отражения особенностей геологического строения и гидрогеологических условий исследуемого объекта.

### *3.4.2 Картирование гидрохимических данных на основе результатов квазитрехмерной модели*

Результаты расчета квазитрехмерной модели изменения гидрохимических параметров, так же можно представить в виде карт характеризующих отдельные геологические стратоны. В данной работе в выделены основные свиты, входящие в состав водоносных комплексов и выполнено построение карт параметров в их пределах. Апт-альб-сеноманский комплекс на рассматриваемой области представлен покурской свитой, состоящей из трех подсвит - верхней, средней и нижней. В отложениях неокомского комплекса выделяются вартовская и мегионская свиты. А юрский комплекс включает водоносные отложения васюганской, тюменской и котухтинской свит. Необходимо отметить, что на территории изучаемого района образования котухтинской свиты залегая на доюрском фундаменте, заполняют имеющиеся в нем понижения и распространены не повсеместно. Области с отсутствием свиты обозначены на картах серым цветом, расположены на востоке, юго-востоке и юго-западе территории (приложение Б).

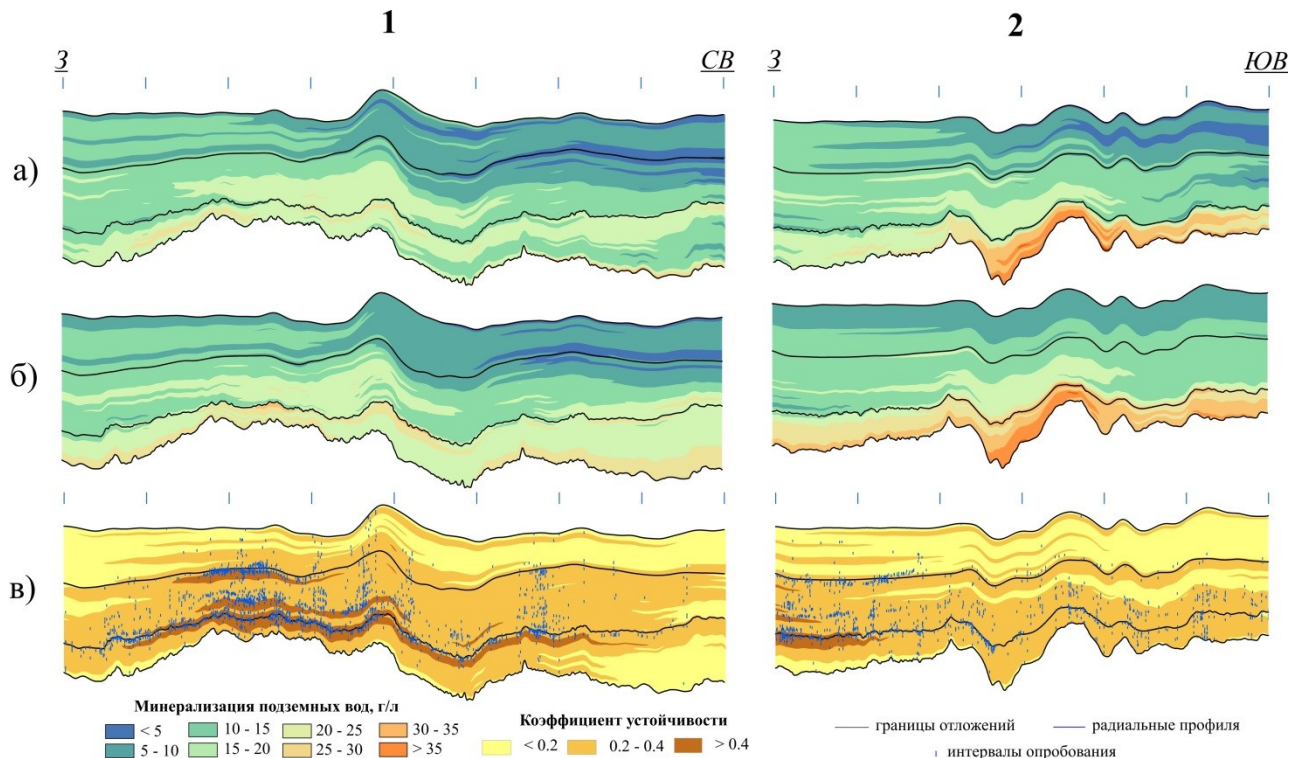
Результаты построения изменения минерализации подземных вод, содержания основных компонентов химического состава вод и коэффициента устойчивости в пределах выделенных отложений представлены в приложении Б. Используемые при расчетах радиальных профилей данные гидрохимических опробований из разведочных скважин, имеют преимущественно полный спектр рассматриваемых компонентов химического состава. Поэтому изменение коэффициента устойчивости по всем параметрам практически идентично и его изменение приводится в работе только по параметру минерализации в приложении Б, на рисунке 16, изменение минерализации и основных компонентов представлено на рисунках 17-21 этого же приложения.

Представленные результаты картирования минерализации подземных вод и основных компонентов химического состава по отдельным представленным свитам и подсвитам, в целом отражают вышеописанные закономерности. По выбранной сетке рассчитанных радиальных профилей картирование данных

имеет достаточно схематичный вид, отражающий основные тенденции изменения параметров. Расчет точек профилей с меньшим шагом, обеспечит более детальные изменения картируемых параметров, что на сегодняшний день осложняется недостаточной автоматизацией выполняемых расчетов.

### 3.4.3 Сравнение методов построения гидрогеохимических разрезов

В разделе 3.3 выполнено построение гидрогеохимических разрезов изменения минерализации и основных компонентов химического состава подземных вод с учетом структурно-литологического строения отложений. А в предыдущем разделе представлены результаты расчета квазитрехмерной модели в пределах рассматриваемой области. Для сопоставления результатов построения гидрогеохимических разрезов разными методами, проведено построение гидрохимических разрезов с использованием результатов расчета радиальных профилей, по линиям разрезов представленных на рисунке 20. В качестве примера на рисунке 24 приведены двумерные представления разрезов изменения минерализации вдоль линий А-А' и В-В'.



**Рисунок 24 - Изменение минерализации и коэффициента устойчивости по линиям разрезов А-А'(1) и В-В' (2)**

(а – построенные по данным расчетов радиальных профилей, б – выполненные методом с проецированием данных, в – изменение коэффициента устойчивости)

Очевидно, что наблюдаемые различия в наибольшей степени проявляются в зонах с пониженной плотностью расположения фактических данных. Наиболее изученными являются подземные воды неокомских и верхнеюрских отложений (рисунок 24.в). Области, обеспеченные данными гидрохимических опробований вдоль линий разрезов характеризуются наиболее высокими значениями коэффициента устойчивости (более 0,4), зоны с единичными опробованиями подземных вод имеют не высокий коэффициент устойчивости менее 0,2.

В целом по приведенным построениям изменения минерализации подземных вод по выбранным линиям разрезов наибольшая схожесть отмечается в пределах апт-альб-сеноманского и неокомского комплексов. Однако по линии А-А' различия отмечаются на западе в средней части отложений и на востоке в верхней части комплекса в появлении прослоев с меньшей минерализацией (рисунок 24.1.а). А в неокомских отложениях отличия наблюдается в восточной части разреза, где по разрезу А-А' (рисунок 24.1.б) вдоль подошвы комплекса отмечаются более высокие значения минерализации и область выдержанных повышенных значений в западной части протягивается по всей линии разреза.

Наиболее заметные расхождения в построениях отмечаются по данным юрского комплекса, при этом области верхнеюрских отложений имеют близкие значения картируемого показателя, а основные отклонения отмечаются в нижнесреднеюрском горизонте, где обеспеченность данными гидрохимических опробований очень низкая (рисунок 24.1).

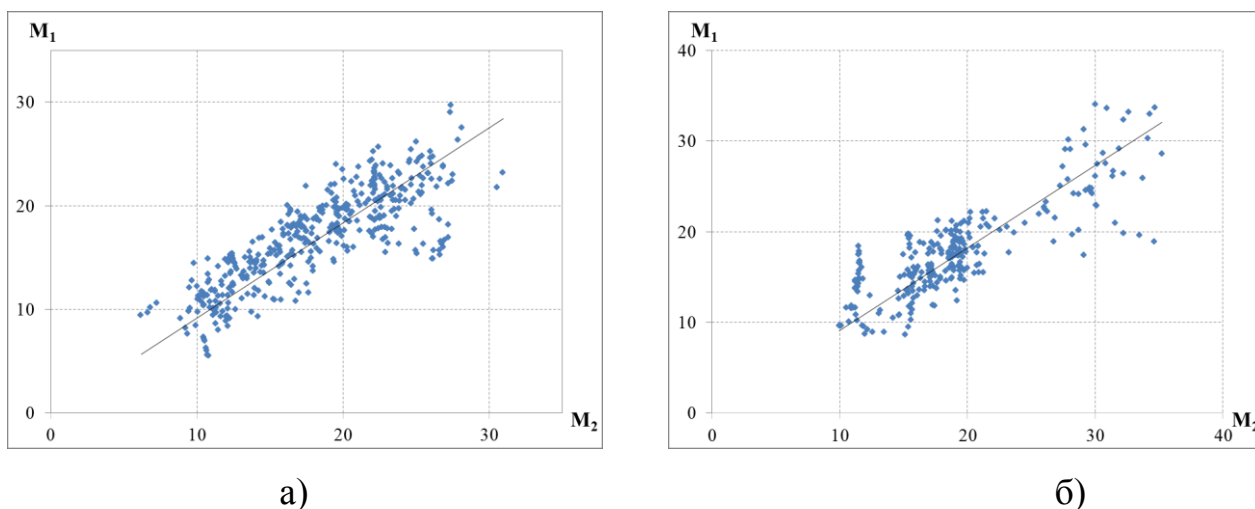
По разрезам линии В-В' также прослеживаются общие закономерности изменения минерализации подземных вод. При этом имеются и существенные различия в деталях. В апт-альб-сеноманских отложениях разреза (рисунок 24.2.б) наблюдается увеличение минерализации с глубиной, от 5 -10 г/дм<sup>3</sup> в верхней части до 10-15 г/дм<sup>3</sup> в нижних частях. В то время как на разрезе выполненном по данным расчета профилей (рисунок 24.2.а) области с наименьшими значениями (5-10 г/дм<sup>3</sup>) расположены в юго-восточной части разреза при этом выделяются выдержанные прослои с минерализацией менее 5 г/дм<sup>3</sup>, а увеличение показателя до 10-15 г/дм<sup>3</sup> отмечается в западном направлении. Необходимо отметить, что

воды комплекса имеют очень небольшое количество гидрохимических данных.

В неокомских отложениях на разрезе 24.2.а отмечается зона пониженных значений минерализации менее  $5 \text{ г/дм}^3$  в юго-восточной части разреза. Существенно различаются полученные модели изменения минерализации для вод юрских отложений в западной части разреза. Подземные воды по разрезу 24.2.а характеризуются минерализацией  $20\text{-}25 \text{ г/дм}^3$  с прослоями более  $25 \text{ г/дм}^3$ , по разрезу выполненному традиционным методом отмечается увеличение минерализации с глубиной от  $20 \text{ г/дм}^3$  до более  $30 \text{ г/дм}^3$ . Аналогичное увеличение минерализации наблюдается и в юго-восточной части разреза (рисунок 24.2.б), в то время как по разрезу выполненному по данным радиальных профилей область повышенных значений (более  $30 \text{ г/дм}^3$ ) протягивается только в средней части комплекса.

Качественное и количественное сопоставление результатов построения гидрогеохимических разрезов различными методами представлено на рисунке 25. Здесь приведено сравнение значений минерализации снятых с гидрохимических разрезов выполненных по данным радиальных профилей ( $M_1$ ) и снятых с разрезов построенных традиционным методом ( $M_2$ ). Количество точек расположенных по равномерной сетке по разрезу А-А' составило 420, по разрезу В-В' – 269. Как следует из приведенных результатов, для выполненных разрезов построения характеризуются достаточно высокой статистической связью – коэффициент корреляции по линии разреза А-А' составляет 0.78, а по линии В-В' равен 0,87.

Наблюдаемые расхождения в результатах построения гидрогеохимических разрезов обусловлены различием в заложенных принципах методов. При построениях, базирующихся на учете данных в пределах некоторой полосы в окрестности разреза, результаты неизбежно отражают трендовые закономерности изменения гидрогеохимических условий в этих границах. А предварительное построение локальных, в отдельных точках закономерностей изменения параметров с глубиной, как представляется, обеспечивает большую достоверность прослеживания гидрогеохимических свойств непосредственно по разрезу отложений.



**Рисунок 25 - Сопоставление расчетных значений минерализации ( $г/дм^3$ )**  
 ( а - по линии А-А', б - по линии В-В')

Построенная в работе квазитрехмерная модель, отражающая пространственные закономерности изменения гидрогеохимических условий мезозойских отложений центральной части Западно-Сибирского мегабассейна, в виде серии согласованных между собой карт минерализации и содержания отдельных компонентов по свитам или подсвитам, а также разрезов субширотного и субмеридионального направлений выносятся на защиту в качестве второго защищаемого положения:

## ГЛАВА 4 ВОПРОСЫ ФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Фундаментальные вопросы формирования химического состава подземных вод рассматриваются в исследованиях В.И. Вернадского, О.А. Алекина, Н.К.Игнатовича, М.С. Гуревича, А.М. Овчинникова, Н.И. Толстихина, Г.Н.Каменского, Е.В. Посохова, А.А. Карцева, С.Л. Шварцева, С.Р. Крайнова, Б.Н. Рыженко и других [1, 7, 17, 29, 70, 90]. В пределах Западно-Сибирского мегабассейна, изучению вопросов формирования химического состава подземных вод глубоких горизонтов, посвящены работы В. В. Нелюбина, А.А. Розина, Б.П.Ставицкого, В.М. Матусевича, А.Э. Конторовича, Ю.Г. Зимины, А.Р.Курчикова, А.Г. Плавника, С.Л. Шварцева, Д.А. Новикова и других [10, 19, 23, 36-38, 48, 54, 73, 80, 81 и др.].

Результаты работ, выполненных этими исследователями, свидетельствуют о том, что формирование химического состава подземных вод центральной части Западно-Сибирского мегабассейна происходило под влиянием различных факторов и процессов, протекающих достаточно длительное время. Неоднократные трансгрессии и регрессии моря, приводили к изменению гидрогеохимической зональности подземных вод. Под их воздействием формировались большие зоны смешения вод разного состава, а так же в процессе литогенеза происходило активное взаимодействие воды и горных пород.

Кроме этого на формирование химического состава подземных вод оказывают значительное влияние протекающие на всем периоде развития мегабассейна тектонические процессы. В региональном плане геотектонические факторы имеют отражение в выделенных водонапорных системах и рассматриваются как один из важных элементов характеризующий границы и направленность движения потоков подземных вод [21, 23, 44, 83 и др.]. Можно отметить, что косвенно этот фактор учитывается при анализе данных гидрогеохимических условий в пределах отдельных тектонических структур, нефтегазоносных районов и областей [12, 53, 80, 83, 89 и др.].

Влияние всех этих процессов имеет отражение в значительной



изменчивости химического состава подземных вод в пределах рассматриваемых отложений района описанное в предыдущей главе.

Далее для анализа отдельных факторов оказывающих влияние на условия формирования подземных вод рассматриваемой области, выполнено районирование подземных вод по химическому составу, проведено сопоставление изменения гидрохимических параметров с наиболее крупными тектоническими элементами, с геодинамическим районированием территории и морфологических условий залегания водоносных комплексов с экстремальными содержаниями отдельных компонентов химического состава подземных вод.

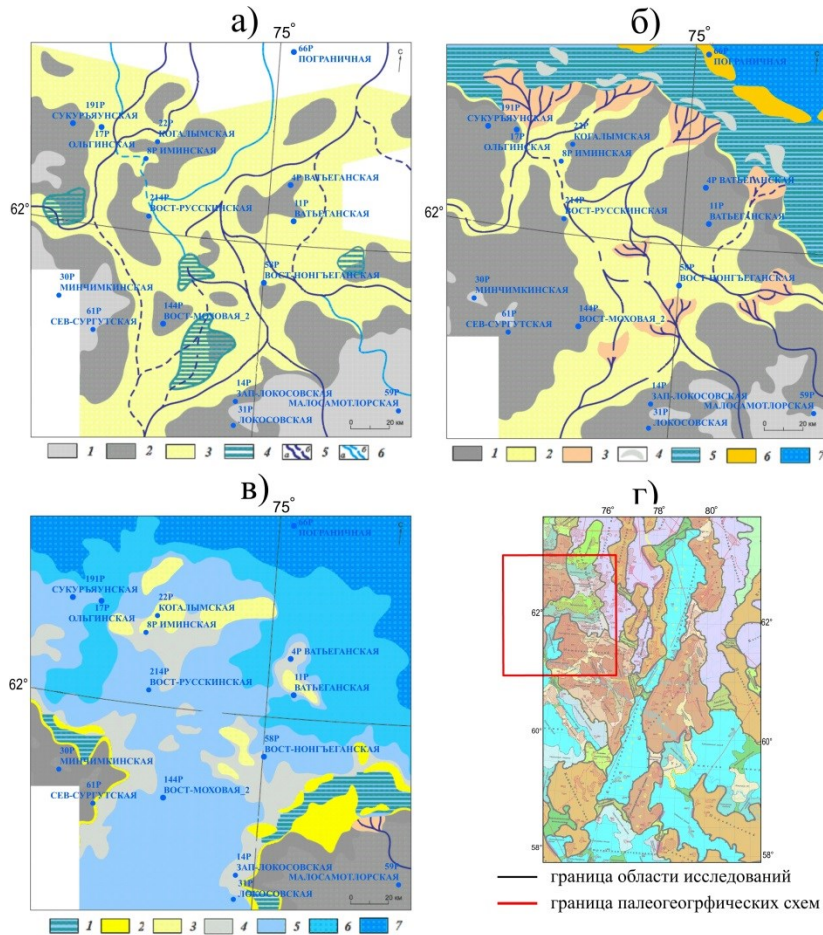
#### **4.1 Влияние условий седиментации на формирование химического состава подземных вод**

Рассматриваемая в работе область занимает значительную часть Западно-Сибирского мегабассейна, в пределах которого на сегодняшний день выполнены региональные палеогеографические реконструкции на меловой и юрский периоды [11, 20, 24, 25]. Но выполненные построения характеризуют достаточно мощные толщи отложений, в которых отобрано большое количество проб подземных вод, характеризующихся иногда достаточно различным химическим составом, в этих условиях анализ влияния условий седиментации на формирование химического состава подземных вод затруднен.

Поэтому оценка влияния условий седиментации на формирование химического состава подземных вод проведена по области, для которой выполнены наиболее детальные реконструкции палеогеографических обстановок [35]. Эта территория расположена в северо-восточной части Широтного Приобья, её область частично попадает в северо-западную часть изучаемого в работе района (рисунок 26 г).

По территории расположенной в северо-восточной части Широтного Приобья, для которой выполнены наиболее детальные реконструкции палеогеографических обстановок на время формирования горизонта ( $Ю_2$ )

приведенные в работе [69]. Рассматриваемый горизонт характеризуется небольшой (до нескольких десятков метров) мощностью. Палеогеографические реконструкции выполнены в виде палеогеографических схем на три этапа времени формирования: нижней (континентальной), средней (переходной) и верхней (морской) частей горизонта Ю<sub>2</sub> (рисунок 26 а-в).



**Рисунок 26 - Палеогеографические схемы формирования горизонта Ю<sub>2</sub> (А.Ю. Попов, 2014г.)**

(а - нижней части, б – средней, в - верхней, г – обзорная карта)

Согласно времени формирования нижняя часть горизонта представлена русловыми алевролитопесчаными телами с расположенными между ними отложениями пойменных равнин с озерами и эрозионно-аккумулятивными равнинами (рисунок 26 а). Средняя часть сложена отложениями морских и прибрежных условий с выделением прибрежных маршей, береговых валов, дельт, подводных отмелей и барьерных баров (рисунок 26 б), в верхней части морские условия становятся преобладающими (рисунок 26 в).

Гидрогеохимическая изученность изучаемых отложений не очень высокая. Всего в пределах верхней части тюменской свиты в пределах рассматриваемой северо-восточной части Широкого Приобья признано достоверными 19 проб подземных вод из 15 скважин. При этом скважины, в которых проведено гидрогеохимическое опробование горизонта Ю<sub>2</sub>, не совпадают со скважинами, в которых выполнен анализ палеогеографических условий. Это накладывает ограничения на прямое сопоставление имеющихся данных о составе подземных вод и условий седиментации вмещающих отложений. Для преодоления этих ограничений по данным палеогеографических реконструкций использовано построение условных схем высоты палеорельефов в виде непрерывных модельных поверхностей. Полученные расчетные значения условных высот (глубин моря) в точках гидрогеохимического опробования применены для их сопоставления со значениями общей минерализации и с содержанием отдельных водорастворенных компонентов.

Поскольку на современный химический состав подземных вод влияют не только условия седиментации, но и постседиментационные процессы их преобразования, для дополнительного анализа привлечены также данные по геотемпературному режиму горизонта – значения температуры и теплового потока. Оценка значений геотермических параметров в исследуемом районе приведена по материалам работ [32].

Сопоставление модельных расчетов и гидрохимических, геотемпературных данных выполнялись с использованием статистических регрессионных и корреляционных методов для выявления количественных показателей взаимосвязи рассматриваемых показателей и анализа их согласованности с теоретическими представлениями о процессах формирования состава водорастворенного комплекса подземных вод.

В таблице 4 приведены результаты парной корреляции значений гидрогеохимических показателей и палеогеографических и геотермических условий. В целом наблюдается относительно слабая связь между собой этих параметров (средние значения абсолютных значений коэффициентов парной

корреляции меньше 0,2). Стабильно низкими значениями характеризуются рассматриваемые взаимосвязи с минерализацией и основными компонентами – ионами натрия и хлора. По ряду показателей (содержанию кальция, гидрокарбоната, йода и брома) фиксируются повышенные (более 0,3 - 0,4) коэффициенты корреляции.

**Таблица 4 - Коэффициенты парной корреляции гидрогеохимических параметров с палеогеографическими и геотемпературными условиями**

Показатель	$H_n$	$H_c$	$H_b$	$T$	$Q$
$M, г/дм^3$	0.172	0.116	0.036	0.060	0.175
$Na, мг/дм^3$	0.129	0.096	0.055	0.023	0.128
$K, мг/дм^3$	-0.121	0.227	-0.093	-0.190	-0.208
$Ca, мг/дм^3$	0.315	0.099	-0.249	0.348	0.487
$Mg, мг/дм^3$	0.173	0.265	-0,028	-0.265	-0.196
$Cl, мг/дм^3$	0.205	0.106	-0.007	0.119	0.241
$HCO_3, мг/дм^3$	-0.127	0.088	0.365	-0.452	-0.455
$I, мг/дм^3$	0.469	0.024	0.052	0.007	0.133
$Br, мг/дм^3$	0.207	0.089	-0.110	0.148	0.321
$B, мг/дм^3$	0.002	-0.196	-0.315	0.120	0.201

В таблице 5 представлены результаты использования нескольких вариантов набора от двух до четырех параметров – значений высот палеорельефа на этапы формирования нижней и средней частей горизонта Ю<sub>2</sub> ( $H_n$ ,  $H_c$ ), на этапы формирования средней и верхней частей ( $H_c$ ,  $H_b$ ), с использованием высот палеорельефа по всем частям ( $H_n$ ,  $H_c$ ,  $H_b$ ), а также с привлечением данных по температуре ( $H_n$ ,  $H_c$ ,  $H_b$ ,  $T$ ) и тепловому потоку ( $H_n$ ,  $H_c$ ,  $H_b$ ,  $Q$ ), и только по данным геотемпературного режима недр ( $T$ ,  $Q$ ). В этой же таблице приведены значения коэффициентов множественной корреляции при использовании в качестве аргументов относительных изменений высот палеорельефа –  $\Delta H_{n,c} = H_n - H_c$  и  $\Delta H_{c,b} = H_c - H_b$ .

В коэффициентах множественной корреляции явно прослеживается их превышение над коэффициентами парной корреляции, что в определенной степени связано с небольшим числом данных гидрогеохимических опробований и, соответственно, со значимостью даже небольшого увеличения числа используемых аргументов уравнения регрессии.

Вместе с тем, использование геотермических показателей в дополнение к палеогеографическим, как правило, не вносит существенных изменений в оценки

коэффициентов множественной корреляции (особенно для компонентов с высокими значениями этого параметра – кальция, гидрокарбоната, йода). Это, с одной стороны, может быть обусловлено небольшими вариациям геотемпературных условий (коэффициент вариации температуры составляет 7.5%, теплового потока еще меньше – 5.3%). С другой стороны, это может свидетельствовать о подчиненном характере влияния геотермического режима недр на химический состав подземных вод горизонта Ю<sub>2</sub> на относительно небольшой территории рассматриваемой области.

**Таблица 5 - Коэффициенты множественной корреляции гидрогеохимических параметров с палеогеографическими и геотемпературными условиями**

Показатель	$H_{\text{н}}, H_{\text{с}}$	$H_{\text{с}}, H_{\text{в}}$	$H_{\text{н}}, H_{\text{с}}, H_{\text{в}}$	$H_{\text{н}}, H_{\text{с}}, H_{\text{в}}, T$	$H_{\text{н}}, H_{\text{с}}, H_{\text{в}}, Q$	$t, Q$	$\frac{\Delta H_{\text{н,с}}}{\Delta H_{\text{с,в}}}$	$\frac{\Delta H_{\text{н,с}}}{\Delta H_{\text{с,в}}, Q}$
	1	2	3	4	5	6	7	8
$M, \text{г/дм}^3$	0.176	0.116	0.233	0.256	0.301	0.304	0.113	0.223
$Na, \text{мг/дм}^3$	0.135	0.099	0.152	0.177	0.238	0.266	0.046	0.189
$K, \text{мг/дм}^3$	0.309	0.302	0.310	0.567	0.494	0.208	0.306	0.494
$Ca, \text{мг/дм}^3$	0.320	0.320	0.841	0.842	0.847	0.545	0.710	0.718
$Mg, \text{мг/дм}^3$	0.345	0.383	0.386	0.393	0.394	0.160	0.388	0.341
$Cl, \text{мг/дм}^3$	0.205	0.116	0.331	0.352	0.388	0.347	0.221	0.300
$HCO_3, \text{мг/дм}^3$	0.212	0.368	0.763	0.771	0.764	0.464	0.729	0.729
$I, \text{мг/дм}^3$	0.515	0.052	0.800	0.813	0.801	0.324	0.607	0.609
$Br, \text{мг/дм}^3$	0.208	0.183	0.559	0.562	0.575	0.497	0.409	0.431
$B, \text{мг/дм}^3$	0.221	0.323	0.609	0.722	0.635	0.262	0.592	0.619

Устойчивость показателей множественной корреляции для отдельных гидрогеохимических параметров является характерной чертой полученных результатов. При этом повышенными коэффициентами корреляции (0.6 - 0.8) стабильно характеризуются содержание ионов кальция и гидрокарбоната, а также йода и бора. Несколько меньшая корреляция (с коэффициентом 0.4 - 0.5) наблюдается для содержания брома. Минимальная статистическая связь фиксируется для основных растворенных в подземных водах компонентов - натрия и хлора, и общей минерализацией в целом (с коэффициентом корреляции 0.1 - 0.3).

Несмотря на выбор различных вариантов количественного представления и учета карт палеогеографических обстановок, устойчивость корреляционных связей свидетельствует об объективности выявленных соотношений и дает основание для анализа природы выявленных взаимосвязей гидрогеохимических

условий и условий седиментации.

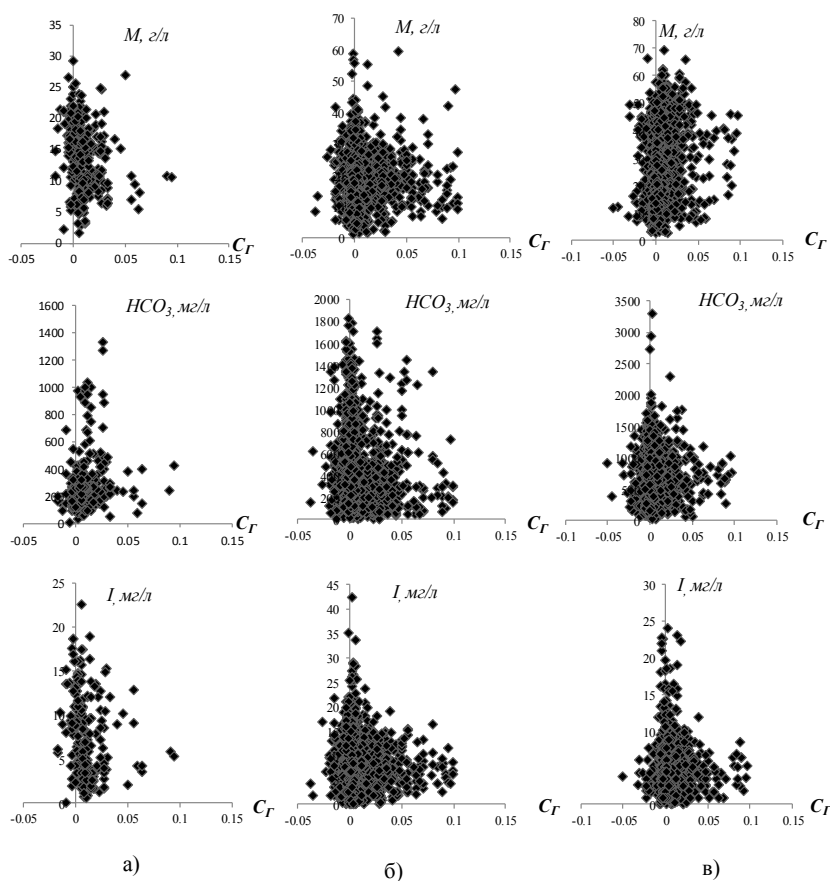
Таким образом, можно отметить, что на содержание ионов кальция и гидрокарбоната, а также йода и бора в подземных водах существенное влияние оказывают условия седиментации, а содержание других компонентов и общей минерализации (соответственно натрия и хлора) в большей степени контролируются другими факторами. Одним из основных факторов при этом, по-видимому, является внедрение морских вод в терригенные отложения и замещение ими седиментогенных вод. Для ряда компонентов (калий, магний, бром), очевидно, значимо как воздействие условий формирования отложений, так и влияние последующих факторов метаморфизма подземных вод.

Для анализа и моделирования гидрогеохимического режима подземных вод в пределах рассматриваемой в работе области, непосредственный перенос представленных методов анализа и результатов затрудняется отсутствием палеогеографических схем формирования отложений с такой же высокой детальностью. Но представленные результаты анализа условий формирования отложений и химического состава подземных вод, являются важными выводами при изучении вопросов условий формирования подземных вод и могут учитываться при дальнейшем анализе рассматриваемой территории.

#### **4.2 Сопоставление морфологических особенностей структурных планов с экстремальными показателями химического состава подземных вод**

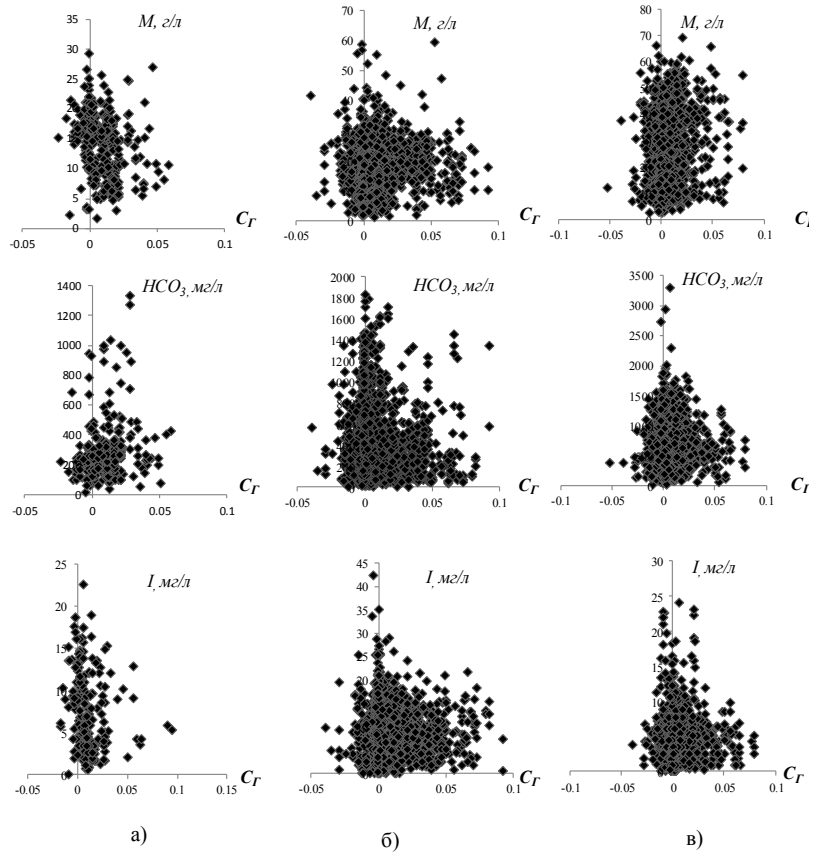
Представленное далее сопоставление выполнено с использованием подхода, изложенного в п. 2.4. В качестве информационной основы для оценки флюидодинамической связи между рассматриваемыми отложениями выбраны структурные карты по кровлям основных водоносных комплексов: сеноманских, неокомских, юрских отложений и доюрского фундамента. В пределах рассматриваемого района выполнено сопоставление имеющихся гидрогеохимических данных со значениями второй производной поверхностей по направлению градиента.

На рисунках 27 - 29 приведены результаты сопоставления вторых производных по направлению градиента структурных карт отложений в точках гидрогеохимического опробования различных водоносных комплексов с минерализацией подземных вод и содержанием в них гидрокарбонат-иона и йода (а – сеноманские, б – неокомские, в – юрские) отложения. На рисунках по оси абсцисс отложены значения вторых производных ( $C_{\Gamma}$ ), по оси ординат гидрогеохимические показатели. Отметим, что зонам вероятного расположения тектонических зон соответствует область близкого к нулевому значению параметра  $C_{\Gamma}$ .

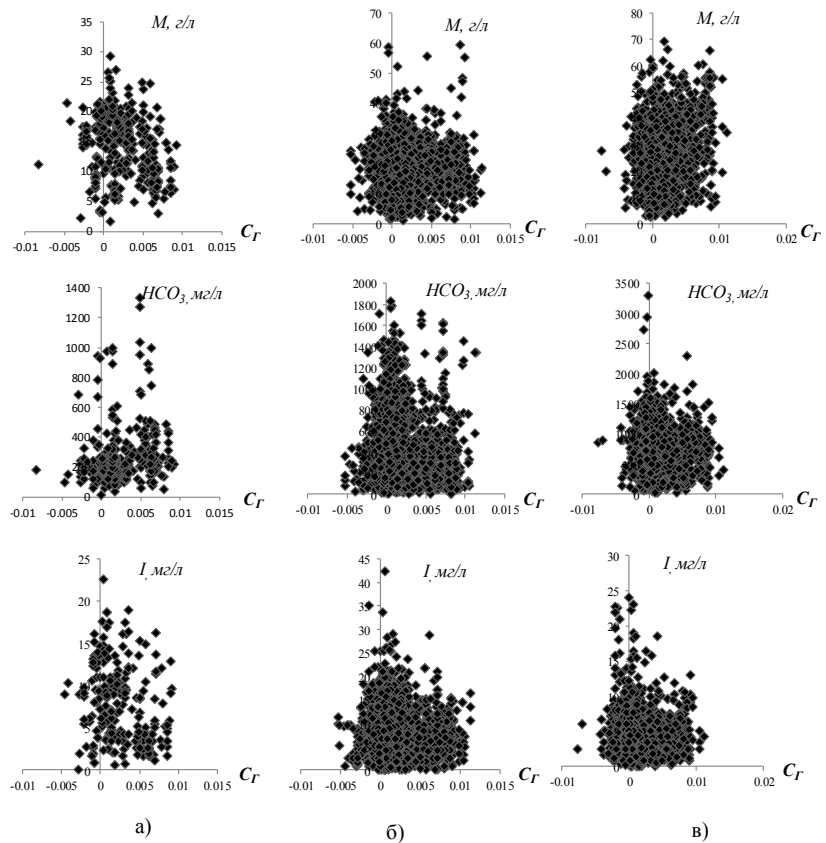


**Рисунок 27 - Сопоставление второй производной структурной карты сеноманских отложений с минерализацией, гидрокарбонат-ионом и йодом в подземных водах**





**Рисунок 28 - Сопоставление второй производной структурной карты неугольных отложений с минерализацией, гидрокарбонат-ионом и йодом в подземных водах**



**Рисунок 29 - Сопоставление второй производной структурной карты горизонта Б с минерализацией, гидрокарбонат-ионом и йодом в подземных водах**

Как видно из представленных данных, максимальные значения содержания гидрокарбонат-иона и йода в подземных водах неокомского и юрского комплексов приурочены к области нулевых значений  $C_T$ , рассчитанных по структурным картам кровли сеноманских, неокомских и юрских отложений. Менее выраженная связь отмечается при сопоставлении показателя минерализации подземных вод комплексов со второй производной по структурным картам.

Подземные воды апт-альб-сеноманского комплекса характеризуются максимальными показателями минерализации и содержания йода, приуроченные к области нулевых значений  $C_T$  рассчитанным по структурным картам кровли сеноманских и неокомских отложений. По содержанию гидрокарбонат-иона, такой взаимосвязи не отмечается. Сопоставление гидрохимических данных и второй производной по структурной карте фундамента не дает такой выраженной взаимосвязи, поэтому в работе она не приводится.

Таким образом, выполненные сопоставления морфологических и гидрогеологических особенностей территории, указывают на то, что повышенные содержания гидрогеохимических показателей в подземных водах наблюдаются по относительно более молодым и активным тектоническим зонам.

#### **4.3 Результаты районирования подземных вод по химическому составу**

В работе разделение данных по химическому составу проб подземных вод на «однородные» группы выполнено формализованным методом кластерного анализа Уорда, описание метода приведено в разделе 2.3. Расчеты и построения проведены в пределах всех рассматриваемых комплексов по ионно-солевому и микрокомпонентному составу подземных вод. При кластеризации данных химического состава подземных вод использовались относительные данные, т.е. хлорные отношения всех компонентов.

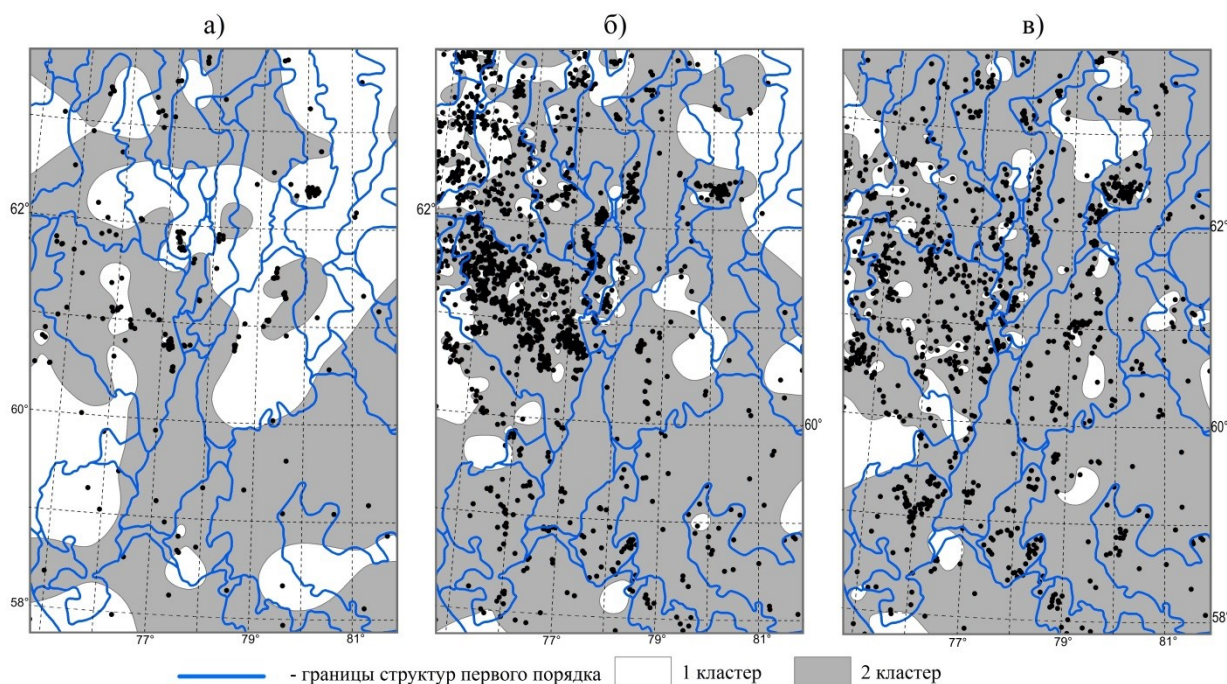
В пределах изучаемой области по всем рассматриваемым водоносным горизонтам отмечается выделение двух групп кластеров, средние значения по

выделенным группам представлены в таблице 6, на рисунке 30 представлены результаты районирования на основе проведенной кластеризации в пределах каждого водоносного комплекса. Наблюдается неравномерность распределения гидрохимических опробований по группам выделенных кластеров, с преобладанием данных во втором кластере. При этом в водах апт-альб-сеноманских отложений количество данных второго кластера составляет около 60% всех проб, в неокомском - 78% и в юрском – 89% .

**Таблица 6 - Средние значения выделенных кластеров химического состава подземных вод**

Компонент	Апт-альб-сеноман				Неоком				Юра			
	Кластер 1		Кластер 2		Кластер 1		Кластер 2		Кластер 1		Кластер 2	
	Кол.	Среднее	Кол.	Среднее	Кол.	Среднее	Кол.	Среднее	Кол.	Среднее	Кол.	Среднее
<i>M</i> , г/дм <sup>3</sup>	177	12.66	244	15.76	584	14.22	2169	19.61	184	12.42	1477	28.33
<i>Na</i> , мг/дм <sup>3</sup>	177	4492.63	244	5386.28	584	4961.42	2169	6200.09	184	4415.09	1477	9869.81
<i>K</i> , мг/дм <sup>3</sup>	94	48.29	58	53.41	368	93.19	1154	83.45	122	137.79	752	153.88
<i>Ca</i> , мг/дм <sup>3</sup>	175	302.02	243	544.29	584	374.24	2167	1244.04	183	176.02	1477	857.72
<i>Mg</i> , мг/дм <sup>3</sup>	173	49.80	242	112.02	577	26.72	2133	44.59	174	27.16	1425	111.76
<i>SO<sub>4</sub></i> , мг/дм <sup>3</sup>	130	5.48	166	2.18	568	20.69	2031	9.13	160	29.28	1275	8.31
<i>Cl</i> , мг/дм <sup>3</sup>	177	7444.63	244	9495.44	584	7978.12	2169	11752.23	184	6620.86	1477	16716.33
<i>HCO<sub>3</sub></i> , мг/дм <sup>3</sup>	177	314.90	241	204.59	582	773.94	2160	306.63	184	1027.79	1467	709.15
<i>I</i> , мг/дм <sup>3</sup>	122	4.95	109	10.41	563	7.84	2018	8.76	162	3.23	1306	4.73
<i>Br</i> , мг/дм <sup>3</sup>	126	31.56	110	42.61	561	36.29	2020	49.68	170	24.90	1333	63.31
<i>B</i> , мг/дм <sup>3</sup>	101	5.86	85	7.64	570	11.91	1945	11.26	161	6.22	1206	8.33
<i>CO<sub>3</sub></i> , мг/дм <sup>3</sup>	147	2.88	171	2.72	555	8.70	1861	2.42	164	24.24	1149	2.62
<i>n-Na</i>	177	0.6157	244	0.567	584	0.6297	2169	0.5299	184	0.6777	1477	0.5943
<i>n-K</i>	177	0.0037	244	0.001	584	0.0088	2169	0.0039	184	0.0135	1477	0.0051
<i>n-Ca</i>	177	3.9328	244	5.744	584	4.5806	2169	10.4115	184	2.7287	1477	5.0723
<i>n-Mg</i>	177	0.6423	244	1.244	584	0.3602	2169	0.3873	184	0.4233	1477	0.6397
<i>n-SO<sub>4</sub></i>	177	0.0588	244	0.016	584	0.4314	2169	0.0899	184	0.5176	1477	0.0657
<i>n-HCO<sub>3</sub></i>	177	0.0705	244	0.026	584	0.1155	2169	0.0282	184	0.1888	1477	0.0505
<i>n-I</i>	177	0.4709	244	0.465	584	0.9556	2169	0.7298	184	0.4557	1477	0.2799
<i>n-Br</i>	177	3.0278	244	1.928	584	4.2722	2169	3.9673	184	3.3921	1477	3.4074
<i>n-B</i>	177	0.4809	244	0.269	584	1.5066	2169	0.8865	184	0.8728	1477	0.4606
<i>n-CO<sub>3</sub></i>	177	0.1445	244	0.023	584	0.1429	2169	0.0204	184	0.3487	1477	0.0160
<i>Cl/M</i>	177	0.5787	244	0.601	584	0.5543	2169	0.5983	184	0.5234	1477	0.5861

Подземные воды первого кластера рассматриваемых комплексов характеризуются невысокими средними показателями минерализации и повышенным содержанием гидрокарбоната, при этом наибольшее расхождение по минерализации между кластерами отмечается в юрских водах до 15,9 г/дм<sup>3</sup>, а по содержанию гидрокарбоната в неокомских (почти в два раза). Воды второго кластера отличаются большими средними значениями минерализации и большим количеством в них кальция, магния, брома и йода.



**Рисунок 30 - Районирование подземных вод по результатам кластеризации данных (наименования структур первого порядка см. на подрисуночной подписи к рисунку 7)**

Распространение второго кластера в апт-альб-сеноманских отложениях протягивается с северо-запада территории на юго-восток и характеризуется более высокой минерализацией вод, с более высоким содержанием кальция, магния и микрокомпонентов йода, брома и бора. Воды первого кластера характеризуются более высокой концентрацией гидрокарбоната, преобладает первый кластер в северо-восточной части апт-альб-сеноманских отложений, с приуроченностью точек опробований в основном к положительным структурам (Варьеганский, Александровский и Бахилловский мегавалы), а так же отмечаются отдельные опробования в западной и южной областях (рисунок 30 а).

Водоносный комплекс неокомских отложений характеризуется преобладанием второго кластера. Выделение достаточно крупных участков распространения первого кластера отмечается на северо-востоке и западе территории, при этом обеспечены данными только области в пределах Сургутского свода и Северо-Вартовской мегатеррасы (рисунок 30 б). В отложениях юрского комплекса второй кластер занимает практически всю территорию, с выделением единичных локальных зон первого кластера (рисунок 30 в).

По проведенному районированию химического состава подземных вод глубоких горизонтов можно отметить очень низкую дифференцированность полученных результатов. Во всех рассматриваемых отложениях преобладают воды второго кластера, занимающие практически всю рассматриваемую область, при этом зоны первого кластера распределены локально. И только в северо-восточной части апт-альб-сеноманского комплекса отмечается достаточно выдержанная область первого кластера.

#### Сопоставление гидрогеохимических показателей смежных комплексов

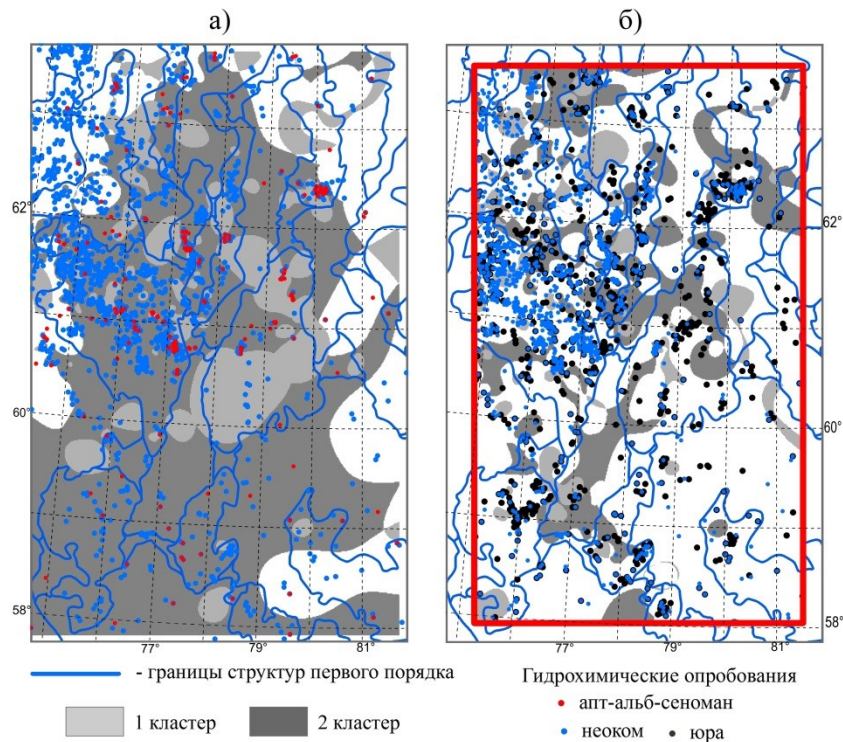
Для картирования гидрогеохимической общности и различий между смежными комплексами использовался подход, основанный на кластеризации общего массива данных по рассматриваемым комплексам, последующего построения карт районирования подземных вод по отдельным комплексам (по выявленным кластерам) и сопоставления полученных карт с определением совместных зон, относящихся к одному кластеру. Гидрогеохимическая схожесть подземных вод соседних комплексов может отражать наличие их флюидодинамической общности, и наоборот, различие в гидрогеохимическом облике может свидетельствовать о наличии достаточно выдержанного водоупора.

При кластеризации общего массива данных апт-альб-сеноманских и неокомских отложений и неокомских и юрских отложений по ионно-солевому и микрокомпонентному составу выделено по два кластера. Средние показатели по выделенным кластерам приведены в таблице 7, а результаты районирования на основе проведенной кластеризации представлены на рисунке 31.

По результатам проведенной кластеризации общего массива опробований апт-альб-сеноманского и неокомского водоносных комплексов первый кластер характеризуется минерализацией подземных вод в среднем равной  $14,27 \text{ г/дм}^3$  и высокой концентрацией гидрокарбоната более чем в 2 раза выше, чем во втором кластере. Второй кластер с более высокой минерализацией вод ( $19,04 \text{ г/дм}^3$ ), более высоким содержанием магния, брома и в три раза более высокой концентрацией в водах кальция.

**Таблица 7 - Средние значения выделенных кластеров химического состава подземных вод смежных комплексов**

Компонент	Апт-альб-сеноман-Неоком				Неоком-Юра			
	Кластер 1		Кластер 2		Кластер 1		Кластер 2	
	Кол.	Среднее	Кол.	Среднее	Кол.	Среднее	Кол.	Среднее
<i>M</i> , г/дм <sup>3</sup>	736	14.27	2438	19.04	2044	19.69	1749	24.83
<i>Na</i> , мг/дм <sup>3</sup>	736	4995.31	2438	6061.68	2044	6213.23	1749	8616.75
<i>K</i> , мг/дм <sup>3</sup>	443	78.83	1231	83.92	1084	81.21	968	146.77
<i>Ca</i> , мг/дм <sup>3</sup>	734	380.89	2435	1158.08	2044	1263.14	1746	763.91
<i>Mg</i> , мг/дм <sup>3</sup>	728	26.41	2397	52.99	1991	39.99	1703	97.99
<i>SO<sub>4</sub></i> , мг/дм <sup>3</sup>	695	15.97	2200	9.21	1916	7.99	1529	15.23
<i>Cl</i> , мг/дм <sup>3</sup>	736	8057.18	2438	11425.06	2044	11785.17	1749	14590.40
<i>HCO<sub>3</sub></i> , мг/дм <sup>3</sup>	735	724.47	2425	282.60	2040	328.51	1736	665.22
<i>I</i> , мг/дм <sup>3</sup>	689	8.01	2123	8.63	1888	9.32	1563	4.55
<i>Br</i> , мг/дм <sup>3</sup>	689	36.76	2128	48.90	1911	51.31	1572	54.16
<i>B</i> , мг/дм <sup>3</sup>	697	12.02	2004	10.75	1806	12.35	1476	7.48
<i>CO<sub>3</sub></i> , мг/дм <sup>3</sup>	696	9.06	2038	1.92	1761	0.98	1421	7.87
<i>n-Na</i>	736	0.6298	2438	0.534	2044	0.5302	1749	0.5991
<i>n-K</i>	736	0.0069	2438	0.004	2044	0.0039	1749	0.0068
<i>n-Ca</i>	736	4.4934	2438	9.864	2044	10.5243	1749	5.1505
<i>n-Mg</i>	736	0.3560	2438	0.495	2044	0.3414	1749	0.6406
<i>n-SO<sub>4</sub></i>	736	0.3286	2438	0.090	2044	0.0787	1749	0.2064
<i>n-HCO<sub>3</sub></i>	736	0.1104	2438	0.027	2044	0.0310	1749	0.0648
<i>n-I</i>	736	0.9242	2438	0.680	2044	0.7881	1749	0.3313
<i>n-Br</i>	736	4.1596	2438	3.710	2044	4.1170	1749	3.3120
<i>n-B</i>	736	1.4342	2438	0.778	2044	0.9823	1749	0.5349
<i>n-CO<sub>3</sub></i>	736	0.1652	2438	0.015	2044	0.0082	1749	0.0862
<i>Cl/M</i>	736	0.5573	2438	0.599	2044	0.5972	1749	0.5791



**Рисунок 31 - Районирование подземных вод смежных комплексов**

(наименования структур первого порядка см. на подрисуночной подписи к рисунку 7)

Основную часть рассматриваемой территории занимает зона общности второго кластера, имеющая характеристику химического состава обоих комплексов практически по всей территории распространения кластера, но необходимо отметить значительную неоднородность гидрохимических опробований неокомского комплекса и малую изученность подземных вод апт-альб-сеноманского комплекса (рисунок 31 а). Зоны общности первого кластера имеют локальное распространение преимущественно в северной части, но подтверждены данными опробованиями только на территории Бахилловского мегавала и в южной части Северо-Вартовской мегатеррасы.

Достаточно большое количество данных гидрогеохимических опробований в пределах неокомского и юрского комплексов, превышает расчетные возможности используемого программного комплекса. Поэтому для проведения кластерного анализа выбранную область пришлось уменьшить примерно на 20 км с каждой стороны (рисунок 31 б). Таким образом, в расчетах использованы 2382 пробы из неокомских отложений и 1446 гидрохимических опробования из юрского комплекса.

Группы кластеров выделенных по массиву данных гидрогеохимических проб подземных вод неокомских и юрских отложений, отличаются по минерализации, содержанию кальция, магния и гидрокарбоната. Для подземных вод первого кластера с меньшей минерализацией отмечается наиболее высокое содержание кальция (почти в два раза), а во втором кластере наблюдается повышенные (в 2 раза) содержания магния и гидрокарбоната, чем в первом кластере (таблица 7).

В пределах изучаемой области зоны общности кластеров распространены локальными участками практически по всей территории. Зоны общности второго кластера являются преобладающими, и подтверждены данными в областях расположенных на территории Вэнгапуровского, Бахилловского и Тагринского мегавалов, Северо-Вартовской мегатеррасе, Нижневарттовском своде, а так же единичными опробованиями на территории Ларьеганского, Тюменского и Колтогорского мегапрогибов и Верхнекаралькинского, Александровского и



Средневажуганского мегавалов (рисунок 31 б). Области первого кластера подтверждены данными в южной части Колтогорского мегапрогиба, средней части Александровского и Варьеганского мегавалов.

В целом по выполненному сопоставлению ионно-солевого и микрокомпонентного состава подземных вод соседних водоносных комплексов можно сказать о том, что воды апт-альб-сеноманского и неокомского комплексов имеют зону общности, занимающую большую часть рассматриваемой территории. Но подтвержденные данными гидрохимических опробований области выделяются только в западной части Северо-Вартовской мегатеррасы и Нижневартковского свода, а так же в южной части Бахиловского мегавала. По результатам совместной кластеризации анализов водоносных комплексов неокомских и юрских отложений выделяются отдельные зоны общности, подтвержденные опробованиями расположенные преимущественно на территории положительных структурах первого порядка.

#### **4.4 Влияние тектонических условий на химический состав подземных вод**

На протяжении всей истории Западно-Сибирского бассейна, его развитие сопровождалось различными по мощности и интенсивности тектоническими процессами. Влияние, которых на химический состав подземных вод оценить очень сложно. Порой, даже наиболее крупные геодинамические процессы, определяющие особенности современного строения осадочного чехла и кристаллического фундамента, не имеют отражения в особенностях распространения водорастворенных компонентов.

В данной работе выполнено сопоставление гидрохимических условий глубоких горизонтов с расположением региональной Колтогорско-Толькинской шовной зоны, а также с результатами геодинамического районирования территории.

#### *4.4.1 Закономерности изменения химического состава подземных вод по отношению к расположению Колтогорско-Толькинской шовной зоны*

По результатам картирования минерализации подземных вод и содержания в них основных компонентов химического состава представленных в разделе 3.2.2 (рисунки 18.19), необходимо отметить отсутствие явно выраженной взаимосвязи гидрогеохимических условий с расположением границ Колтогорско-Толькинской шовной зоны, которая является результатом мощных процессов рифтогенеза. В подземных водах апт-альб-сеноманских отложений только вдоль бортов Толькинского мегапрогиба и частично северной части Колтогорского мегапрогиба наблюдается пространственная согласованность изолиний минерализации. По содержанию кальция и бора, области различных значений параметров пересекают шовную зону на части в районе Колтогорского мегапрогиба. В отношении гидрокарбоната большая часть шовной зоны характеризуется содержанием компонента менее  $125 \text{ мг/дм}^3$  и только в восточнее Толькинского мегапрогиба отмечается увеличение параметра более  $375 \text{ мг/дм}^3$ . Не очень явная взаимосвязь отмечается и по картированию содержания йода и брома в водах отложений, уменьшение параметров отмечается вдоль бортов Толькинского мегапрогиба.

В подземных водах неокомского комплекса в западном направлении от Толькинского мегапрогиба прослеживается тенденция к увеличению минерализации, а в районе Колтогорского мегапрогиба увеличение минерализации отмечается на восток территории. Аналогичные закономерности наблюдаются также по содержанию кальция и бора, менее выражены эти закономерности по изменению в водах брома. Основная часть Колтогорско-Толькинской зоны по содержанию водорастворенного гидрокарбоната расположена в области значений близких к средним (от  $250$  до  $500 \text{ мг/дм}^3$ ), и только южная часть Колтогорского мегапрогиба входит в зону пониженного менее  $250 \text{ мг/дм}^3$  содержания гидрокарбоната.

Подземные воды юрского комплекса характеризуются более широкими вариациями гидрохимических параметров и меньшей пространственной

выдержанностью (в отличии от вышележащих комплексов) зон близких значений отдельных компонентов. Это усиливает характерную картину отсутствия явных признаков проявления Колтогорско-Толькинской шовной зоны в химическом составе подземных вод.

По представленному двумерному картированию изменения минерализации и основных компонентов химического состава не выявлено явных закономерностей влияния Колтогорско-Толькинской шовной зоны, при этом химический состав вод рассматриваемых комплексов имеет существенные отличия. Поэтому для дальнейшего анализа выполнены построения изменения основных параметров химического состава вод, по линиям разрезов пересекающих шовную зону.

По выполненным гидрохимическим разрезам, представленным в разделе 3.3 (рисунки 21, 22), можно отметить незначительное влияние региональной грабен-рифтовой системы на содержание основных компонентов водорастворенного комплекса подземных вод. Так по линии разреза А-А' пересекающей Толькинский мегапрогиб, наблюдается различие по минерализации и менее четко просматривается по содержанию брома и йода в апт-альб-сеноманском и неокомском комплексах, по разные стороны мегапрогиба (рисунок 21 а, г), по остальным компонентам различий в их содержании по разрезу отложений не отмечается. По линии разреза В-В' пересекающей Колтогорский мегапрогиб, различия в химическом составе можно отметить только по содержанию кальция в средней части неокомских отложений в западном направлении от мегапрогиба.

Имеющиеся существенные различия в закономерностях изменения отдельных компонентов водорастворенного комплекса подземных вод, как представляется, в большей степени связаны с воздействием различных процессов, которые являются определяющими при формировании гидрогеохимических условий нижнего водоносного этажа. При этом процессы, которые определяют содержание того или иного компонента в составе пластовых вод существенно различаются, а результирующий состав подземных вод обусловлен воздействием множества факторов, во многом индивидуальных для каждого из рассмотренных

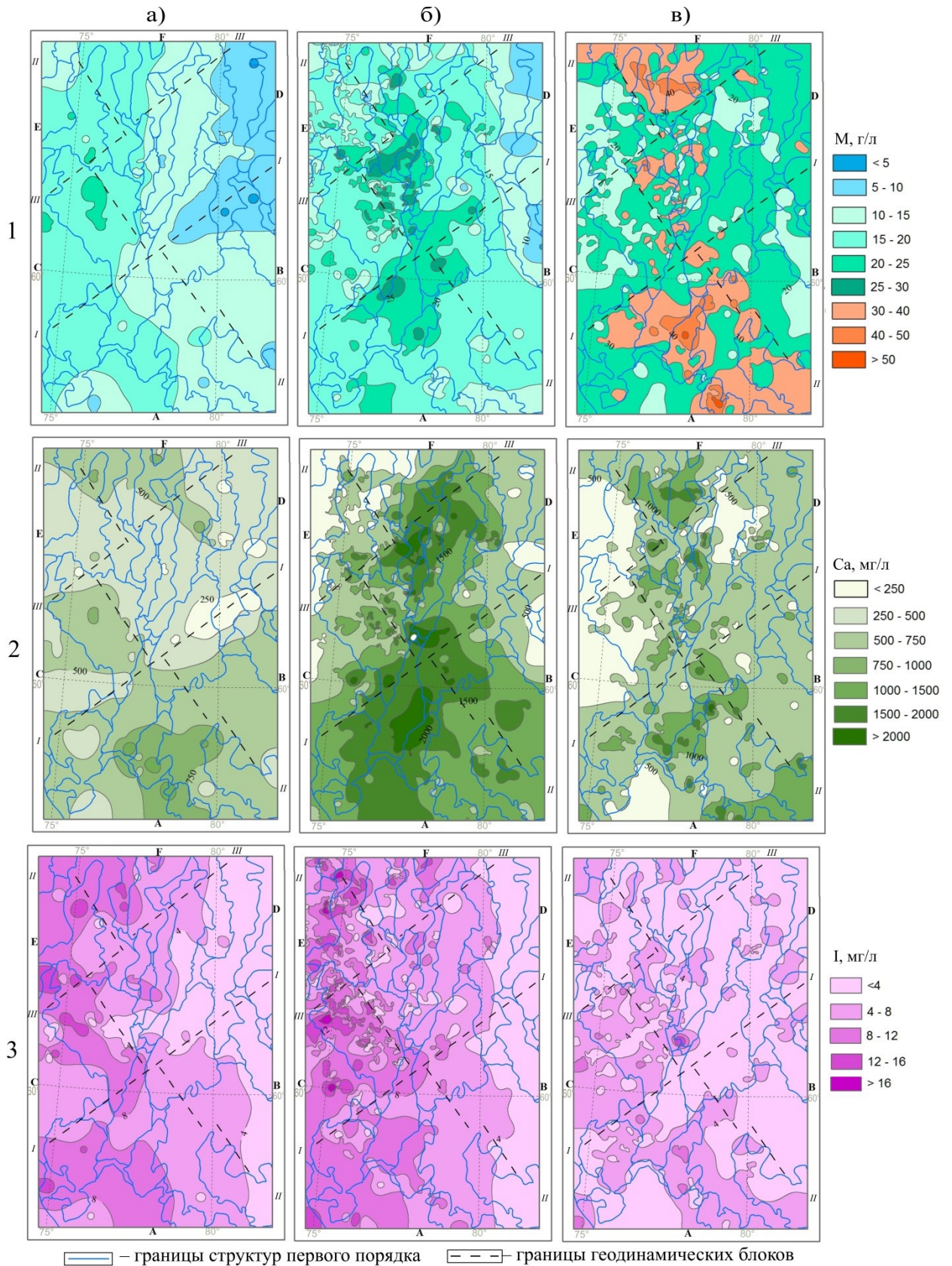
КОМПОНЕНТОВ.

#### *4.4.2 Сопоставление карт основных компонентов химического состава подземных вод с результатами геодинамического районирования*

В этих условиях влияние тектонических процессов на гидрогеохимические условия глубоких отложений оценить достаточно сложно. Наиболее наглядный способ анализа взаимосвязи гидрогеохимических условий подземных вод и геодинамических процессов, является сопоставительный анализ данных содержания отдельных компонентов химического состава, с результатами геодинамического районирования выполненного в виде серии линеаментов (рисунок 8).

На карты изменения минерализации подземных вод и содержания в них основных водорастворенных компонентов вынесены границы первого порядка тектонической карты [85] и карты геодинамического районирования. На рисунке 32 представлены карты изменения компонентов химического состава подземных вод, по которым наиболее видна взаимосвязь с выделенными зонами, это минерализация, содержание кальция и йода.

Как видно из приведенных данных картирования, отмечается некоторая взаимосвязь между изменением гидрохимических условий и расположением геодинамических блоков (рисунок 8). Наиболее отчетливо эта взаимосвязь прослеживается в картировании общей минерализации подземных вод. В апт-альб-сеноманском комплексе линейная зона *I-I* разделяет северную часть (геодинамические блоки **С** и **Д**), где наблюдается преимущественно субмеридиональное расположение изолиний, и южную (юго-восточную, включающую блоки **А** и **В**) где происходит резкое изменение трендовых закономерностей.



**Рисунок 32 - Минерализация подземных вод (1), содержание кальция (2) и йода (3) в подземных водах**

( а - апт-альб-сеноманских, б - неокомских, в - юрских отложений, наименования тектонических элементов см. на подрисуночной подписи к рисунку 7)

В отложениях неокомского возраста зоны повышенных значений минерализации (более  $20 \text{ г/дм}^3$ ) отмечаются в северной части блока **A**, приуроченные к южной части Александровского мегавала, основной части Колтогорского мегапрогиба, а также в северных частях Каймысовского свода и Среднеवासюганского мегавала. Далее зона протягивается вдоль западной границы блока **D**, захватывая центральную часть Александровского свода, Стрежевскую мегаседловину, Тюменский мегапрогиб, а также участок сочленения Нижневартовского свода, Северо-Вартовской мегатеррасы и Пякупурского мегапрогиба. В северной части территории зона повышенных значений прослеживается вдоль Варьеганского и Вэнгапурского мегавалов, частично заходя в блок **F**.

Аналогичные закономерности проявляются и в изменении минерализации подземных вод юрского комплекса. Здесь приуроченность зоны максимальных минерализаций (более  $30 \text{ г/дм}^3$ ) к выделенным геодинамическим блокам **A** и **F** выражена еще более явно. В западной части блока **D** также фиксируются зоны с повышенными значениями минерализации, но более фрагментированные по сравнению аналогичными зонами в неокомском водоносном комплексе. Можно отметить, что в блоке **D** Толькинский мегапрогиб и Южно-Толькинский прогиб выступают определенным гидрогеохимическим барьером во всех рассматриваемых комплексах – при переходе в направлении от их западного борта к восточному, наблюдается закономерное уменьшение минерализации подземных вод.

В пространственных тенденциях изменения минерализации подземных вод и содержания кальция прослеживается определенная схожесть. Это определяет и некоторую общность согласованности карт концентраций этих показателей с элементами геодинамического районирования. Блоки **A**, **B** и **C** в целом характеризуются повышенными значениями кальция (более  $500 \text{ мг/дм}^3$ ) в водах апт-альб-сеноманского комплекса, блоки **D** и **E** – пониженными. В неокомском и юрском комплексах по этому параметру отмечаются схожие, но менее контрастные закономерности, по сравнению с изменением минерализации этих

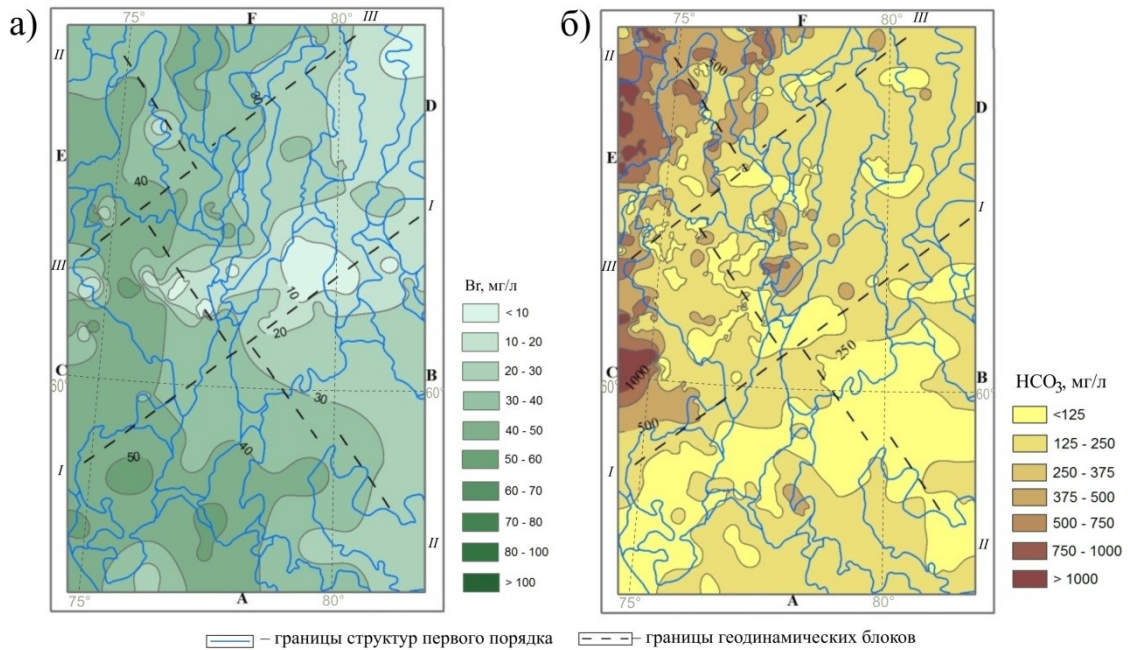
вод. Области повышенных значений (для неокомского комплекса более 1500 мг/дм<sup>3</sup>, для юрского более 1000 мг/дм<sup>3</sup>) располагаются в блоках **A** и **F**, а также в западной части блока **D**.

Блоки **B** и **D** характеризуются пониженными значениями концентраций йода (менее 4 мг/дм<sup>3</sup>) в подземных водах апт-альб-сеноманских и неокомских отложений, в остальных блоках содержание йода более 8 мг/дм<sup>3</sup>. В водах юрского комплекса содержание йода значительное меньше, на большей части значения показателя не превышают 4 мг/дм<sup>3</sup> и только в блоках **A** и **C** отмечается небольшое увеличение показателя. Четко выраженный переход к зонам пониженных значений содержания йода в водах всех рассматриваемых отложений фиксируется лишь по границе блоков **C** и **D**.

Связь между закономерностями изменения содержания других компонентов водорастворенного комплекса подземных вод и геометрией выделенных геодинамических зон если и проявляется, то неявно и фрагментарно. Можно отметить условно прослеживаемую субпараллельно северным границам блоков **A** и **B** широкую зону, неправильной формы с пониженными (менее 250 мг/дм<sup>3</sup>) значениями гидрокарбоната в неокомском комплексе (рисунок 33 б). И определенную согласованность границ блока **A** и зоны повышенных концентраций (более 4 мг/дм<sup>3</sup>) бора в подземных водах апт-альб-сеноманского комплекса (рисунок 33 а).

Таким образом, наибольшая согласованность изменения минерализации подземных вод с выделенными границами геодинамического районирования, может говорить о влиянии относительно недавних тектонических процессов на современное состояние гидрогеохимического режима недр. По остальным компонентам химического состава подземных вод согласованность с геодинамическими зонами не просматривается либо носит более фрагментарный характер.





**Рисунок 33 - Содержание брома (1) и гидрокарбоната (2) в подземных водах**  
 (а – апт-альб-сеноманских, б – неокомских отложений;  
 наименования тектонических элементов см. на подрисуночной подписи к рисунку 7)

Сопоставление химического состава подземных вод и геодинамических условий свидетельствует о существенности воздействия тектонического фактора на гидрогеохимический режим недр на протяжении всей истории развития бассейна. Однако это воздействие проявляется в большей степени в пространственных закономерностях изменения общей минерализации подземных вод (и, соответственно, содержания ионов натрия и хлора) и в меньшей степени в содержании других макро- и микрокомпонентов.

Как представляется это обусловлено тем, что тектоника в первую очередь влияет на параметры фильтрации подземных вод – направленность движения, изменение границ потоков, формирование и разрушение гидродинамически связанных зон. И, соответственно, наблюдаемая определенная согласованность тектонических условий и минерализации подземных вод свидетельствует о том, что содержание основных макрокомпонентов подземных вод – натрия и хлора в значительной степени определяется гидродинамическими факторами. Конечно, тектонические процессы влияют на формирование состава всего спектра водорастворенных компонентов, в том числе кальция, гидрокарбоната, йода, брома и бора. Но, очевидно, на содержание этих компонентов существенное



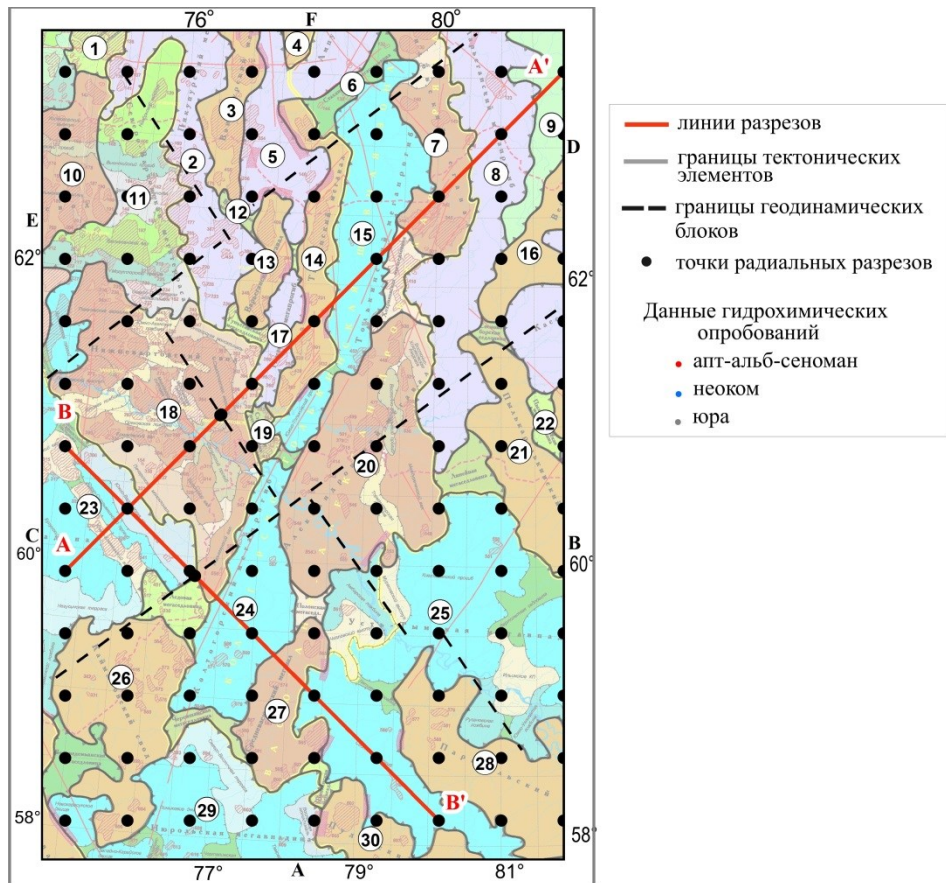
воздействие оказывают и другие факторы, в частности, условия седиментации отложений, их постседиментационные преобразования (что подтверждается анализом, приведенным в разделе 4.1) и многопараметрические физико-химические взаимодействия подземных вод с вмещающими породами.

#### *4.4.3 Проявление геодинамического фактора в химическом составе подземных вод по разрезу отложений*

Выявленные отличия в содержании отдельных компонентов химического состава подземных вод глубоких отложений, в пределах различных блоков, описанные в предыдущем разделе, должны отражаться и по разрезу отложений. Рассмотрим изменение минерализации и основных компонентов химического состава по разрезу отложений в областях наиболее различающихся при картировании блоков.

В пределах рассматриваемой области по данным расчета квазитрехмерной модели изменения гидрохимических параметров выполнены построения двух гидрогеохимических разрезов, по тем же линиям, что рассматривались ранее в разделе 3.3. Линия разреза А-А' проходит с юго-запада на северо-восток территории и пересекает С и D блоки, линия разреза В-В' протягивается с запада на юг области, захватывая С и А блоки (рисунок 34).

На рисунках 35-38 представлено изменение минерализации и отдельных компонентов химического состава подземных вод по выбранным линиям разрезов. Серой линией в верхней части разреза (проходящей параллельно точкам радиальных профилей) отмечено пересечение линии разреза с границей геодинамических блоков. По выполненным построениям отмечается не очень явное отличие гидрохимических параметров различных блоков по разрезу отложений.

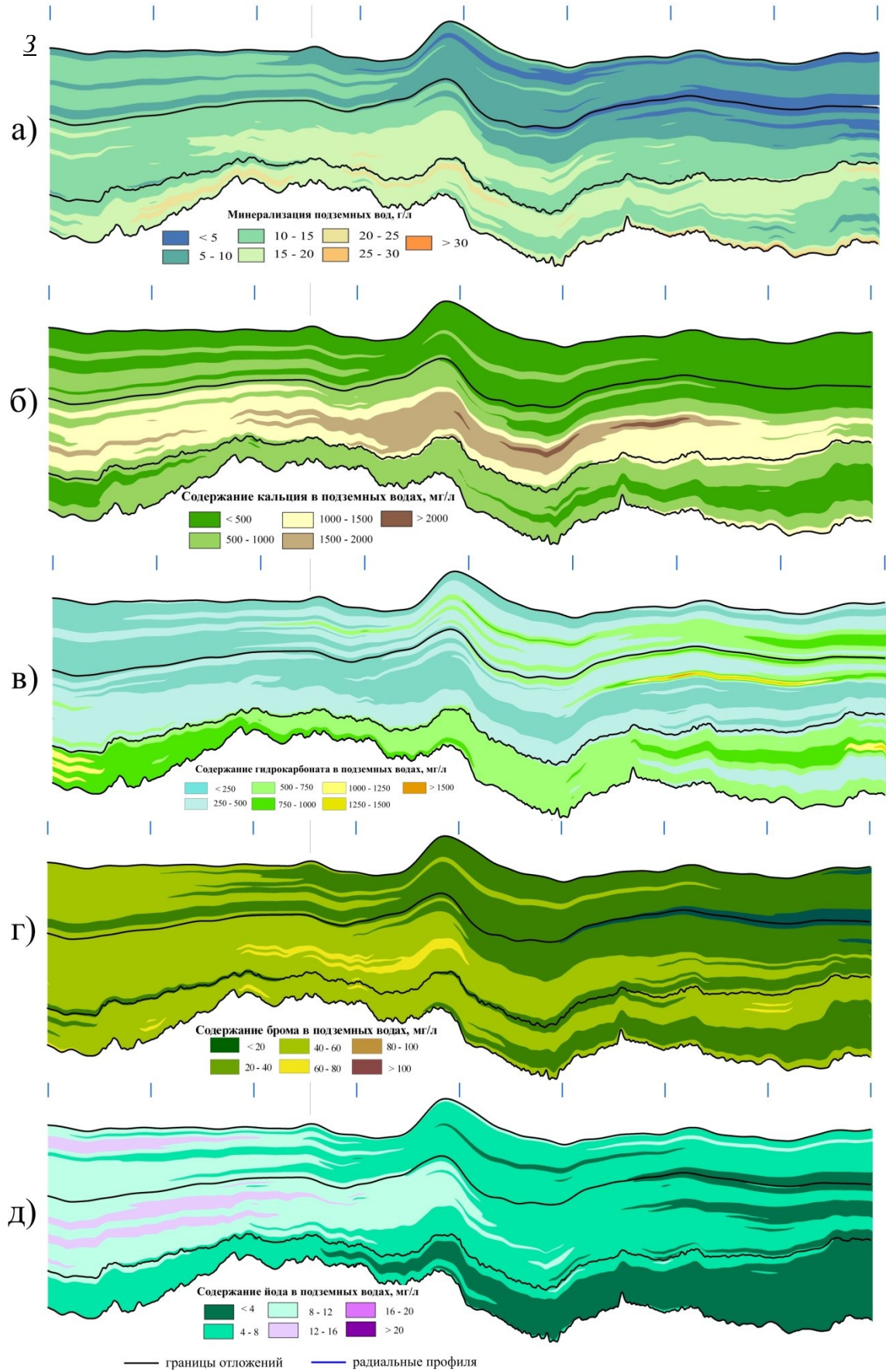


**Рисунок 34 - Схема расположения линий разрезов**

(наименования тектонических элементов см. на подрисуночной подписи к рис. 7)

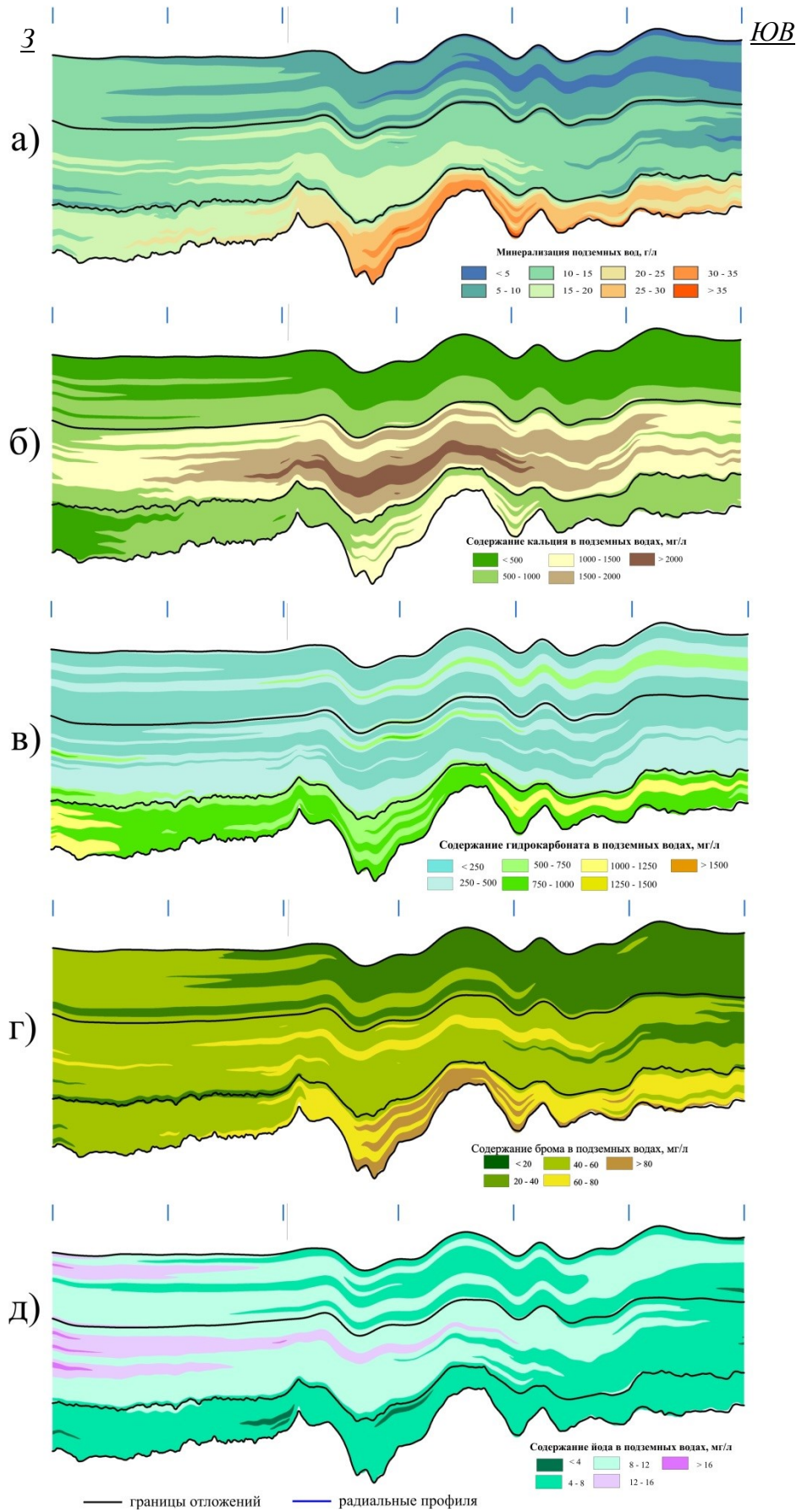
Так по линии разреза А-А' пересекающего блоки С и D, отмечается отличие по минерализации в юрском комплексе, где в блоке С более минерализованные воды приурочены к нижним частям комплекса, а в блоке D к верхней части. По содержанию кальция воды неокомского комплекса в блоке С характеризуются наличием прослоев с повышенным содержанием кальция в средней части (более 1500 мг/дм<sup>3</sup>) и в верхней (более 1000 мг/дм<sup>3</sup>). В соседнем блоке область прослоев в средней части сливается в одну толщу, с увеличением её мощности к центральной части блока, а в верхней части комплекса отмечаются более низкие содержания кальция (более 500 мг/дм<sup>3</sup>, рисунок 35).

По содержанию в водах йода можно отметить различия практически по всему комплексу отложений. Блок С в целом характеризуется более высокими содержаниями компонента, чем смежный блок D, но четких границ не просматривается. По остальным компонентам в пределах линии разреза А-А' различий в их содержании по разрезу отложений не отмечается (рисунок 35).



**Рисунок 35 - Изменение компонентов химического состава по разрезу А-А'**  
 (а – минерализация, б – кальций, в – гидрокарбонат, г – бром, д – йод)





**Рисунок 36 - Изменение компонентов химического состава по разрезу В-В'**  
(а – минерализация, б – кальций, в – гидрокарбонат, г – бром, д – йод)

По линии разреза В-В' проходящей через блоки С и А, в изменении минерализации подземных вод можно отметить преобладание вод с минерализацией 15-20 г/дм<sup>3</sup> с более высокоминерализованными (20-25 г/дм<sup>3</sup>) прослоями в кровле и подошве отложений на территории блока С и более высокие значения в пределах всей толщи блока D (от 20-25 г/дм<sup>3</sup> с увеличением в южном направлении по линии разреза до более 30 г/дм<sup>3</sup>). Аналогичные изменения отмечаются и по содержанию в водах брома по линии разреза (рисунок 36). По содержанию остальных компонентов химического состава по разрезу отложений явных отличий не отмечается.

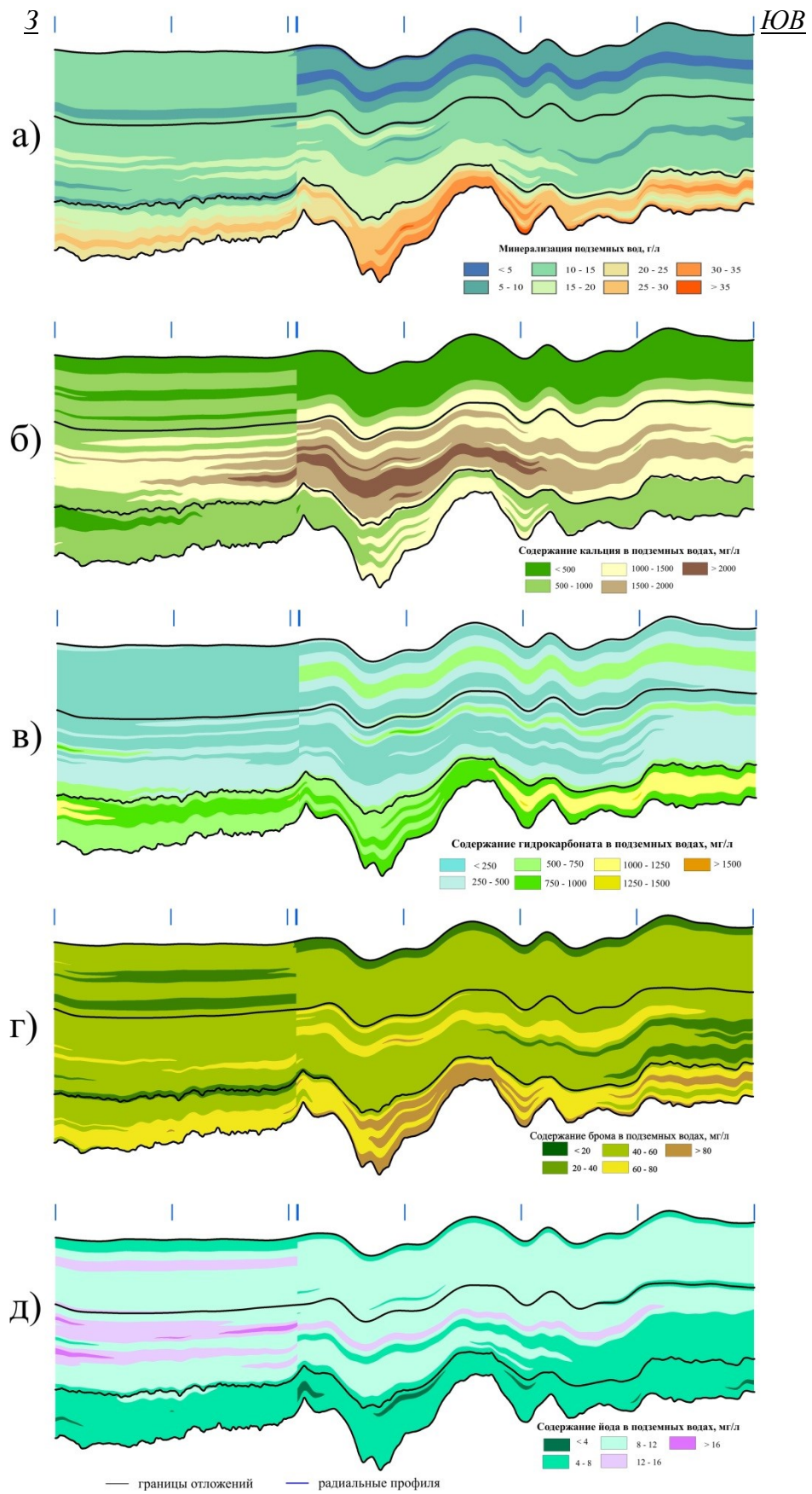
В целом по проведенному сопоставительному анализу изменения гидрохимических параметров по разрезу отложений с границами геодинамических блоков, наиболее видимые отличия наблюдаются по показателю минерализации подземных вод, содержанию в водах кальция и микрокомпонентов йода и брома.

Поэтому для исключения влияния соседних блоков на данные построения гидрохимических разрезов, при расчете точек радиальных профилей далее будем использовать данные гидрохимических опробований только в пределах того блока в который она попадает. Расчет радиальных профилей выполнен согласно вышеописанной методике (глава 2.3), с исходными параметрами построения, описанными в главе 3.4. Построение гидрохимических разрезов выполнено по линиям разрезов, представленным на рисунке 34, при этом расчеты выполнены по тем же точкам профилей и по дополнительным точкам профилей расположенным на границах блоков.

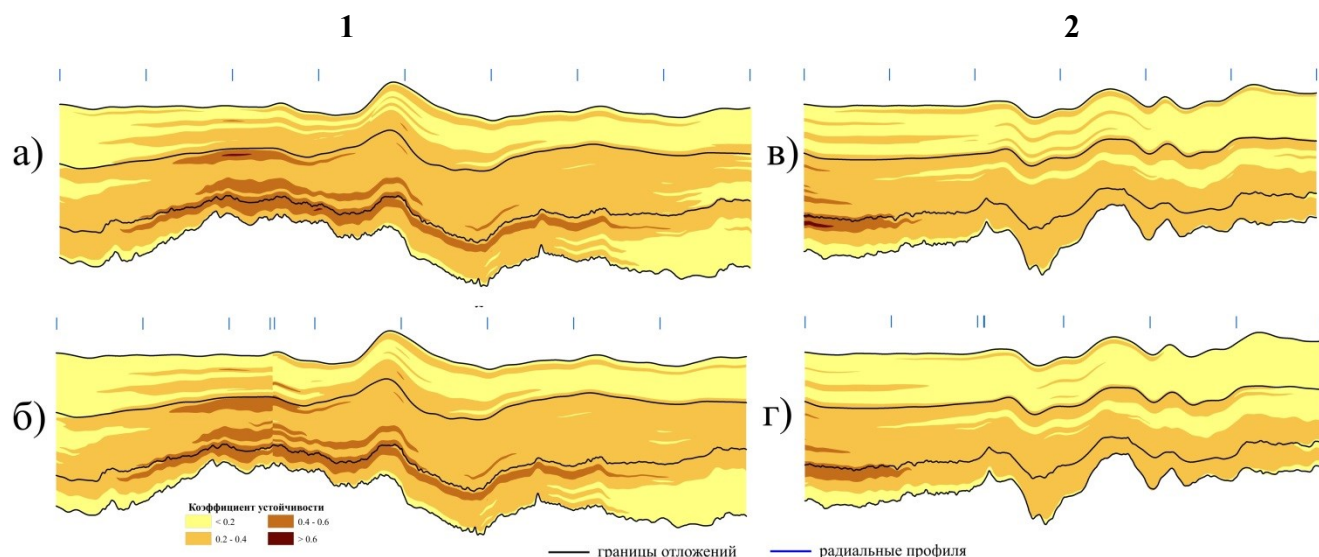
Изменение минерализации подземных вод и основных компонентов химического состава по линии разреза А-А' представлено на рисунке 37, а по линии В-В' на рисунке 38. Представленные построения по всем параметрам химического состава подземных вод имеют различия в изменении параметров в пределах соседних блоков. При этом изменение коэффициента устойчивости построений выполненных разными методами имеют незначительные отличия за счет меньшего количества учитываемых при построении данных (рисунок 39).







**Рисунок 38 - Изменение компонентов химического состава по разрезу В-В'**  
(а – минерализация, б – кальций, в – гидрокарбонат, г – бром, д – йод)



**Рисунок 39 - Изменение коэффициента устойчивости по линиям разрезов А-А'(1) и В-В' (2)**

(а – по данным расчета квазитрехмерной модели, б – с учетом геодинамического районирования)

Аналогично данным картирования химического состава подземных вод, наибольшие отличия на границе различных блоков фиксируются по изменению минерализации вод и содержания в них брома по всем водоносным комплексам. Менее заметные различия отмечаются по содержанию кальция, гидрокарбоната и йода преимущественно в апт-альб-сеноманском и неокомском комплексах.

Некоторые отличия в изменении гидрохимических параметров по соответствующим линиям разрезов выполнены различными методами обусловлены выбранным методом расчета радиальных профилей учитывающих различное количество данных опробований.

Таким образом, выполненные построения свидетельствует о существенности воздействия тектонического фактора на гидрогеохимический режим недр, и это воздействие проявляется в большей степени в пространственных закономерностях изменения общей минерализации подземных вод и в меньшей степени в содержании других макро- и микрокомпонентов.

Применение описанного метода расчета точек радиальных профилей позволяет наиболее наглядно отобразить наличие отличий в химическом составе подземных вод различных геодинамических блоков. Использование результатов этих расчетов так же может использоваться при построении карт



гидрохимических параметров в пределах отдельных геологических единиц.

Все вышесказанное позволяет сформулировать третье защищаемое положение: **Пространственные закономерности изменения минерализации подземных вод контролируются неотектоническими условиями развития рассматриваемой части бассейна, а содержание компонентов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  и микрокомпонентов  $\text{I}^-$ ,  $\text{Br}^-$  и  $\text{B}^-$  преимущественно определяются условиями седиментации и постседиментационными преобразованиями отложений.**

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучаемая область, расположенная в центральной части Западно-Сибирского мегабассейна, является характерной областью с существенной неоднородностью изученности подземных вод. Северо-западные части территории с расположенными на ней месторождениями подземных вод характеризуются значительным преобладанием гидрохимической информации, при этом южные и восточные области являются малоизученными. Всего по рассматриваемой области проанализировано 4832 проб подземных вод, из них более 50 % приходится на пробы неокомского комплекса, чуть более 30% на юрские отложения и менее 10% на апт-альб-сеноманские.

Для анализа гидрогеологических условий территории в пределах глубоких водоносных комплексов использованы статистические методы, стандартные классификации химического состава вод, выполнены построения карт изменения минерализации и основных параметров химического состава подземных вод. Для анализа гидрогеологических условий территории по разрезу отложений осуществлены построения гидрохимических разрезов наиболее характерных областей в тектоническом плане, с учетом структурно-литологических особенностей отложений.

Полученные результаты квазитрехмерного моделирования гидрогеологических условий исследуемого района, представленные в виде серии гидрогеохимических разрезов и послойных карт, дают возможность наиболее полно и всесторонне анализировать особенности геологического строения и гидрогеологических условий исследуемого объекта. Представленные результаты так же свидетельствуют о эффективности выбранного метода моделирования гидрогеологических условий на основе расчета условно-радиальных профилей и возможности его применения на всей территории мегабассейна, при условии дальнейшей его автоматизации.

Проведенный анализ показал отсутствие явно выраженной взаимосвязи минерализации и компонентов химического состава с расположением границ

Колтогорско-Толькинской шовной зоны, которая является результатом мощных процессов рифтогенеза. Выявленные существенные различия в закономерностях изменения отдельных компонентов водорастворенного комплекса подземных вод, скорее всего, связаны с различными процессами, влияющими на условия их формирования. При этом процессы и факторы, определяющие их содержание в подземных водах различны для каждого из рассматриваемых компонентов химического состава.

Сопоставительный анализ минерализации и содержания основных компонентов состава вод глубоких отложений с результатами геодинамического районирования, морфологическими особенностями территории и данными палеогеографических реконструкций показал преобладающее влияние отдельных факторов на условия формирования химического состава подземных вод. Так на изменение минерализации подземных вод глубоких горизонтов (соответственно натрия и хлора) наиболее существенное влияние оказывают неотектонические процессы. На содержание в водах компонентов кальция, гидрокарбоната и микрокомпонентов йода и бора отмечается преимущественное воздействие условий седиментации и постседиментационных преобразований. Процессы формирования отложений и их последующего метаморфизма являются преобладающими факторами определяющими содержание водорастворенных калия, магния и брома.

Представленные результаты свидетельствуют о решении поставленных задач по анализу гидрогеохимических условий изучаемого района с использованием современных вычислительных средств статистической и картографической обработки данных, разработке и реализации метода построения квазитрехмерной модели изменения ионно-солевого и микрокомпонентного состава подземных вод, оценке взаимосвязи пространственных закономерностей гидрогеохимического режима глубоких горизонтов с условиями формирования химического состава подземных вод.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. **Алекин, О.А.** Основы гидрохимии / О.А. Алекин. – Л.: Гидрометеоздат, 1953. – 296 с.
2. **Барс, Е.А.** Методические указания по использованию комплекса гидрогеохимических критериев миграции подземных вод. / Е.А. Барс. – М.:Мин.нефт пром-ти. ИГиРГИ АН СССР, 1987. – 24 с.
3. **Бешенцев В.А.** Подземные воды ЯНАО. / В.А. Бешенцев. – Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2006. – 149 с.
4. **Бородкин, В.Н.** Гидрохимическая характеристика клиноформ ачимовской толщи севера Западной Сибири / В.Н. Бородкин, Д.Л. Хоробрых, С.А. Любимов // Горные ведомости. – 2005. – № 8. – С. 52–56.
5. **Волков, А.М.** Геологическое картирование нефтегазоносных территорий с помощью ЭВМ. /А.М. Волков. – М.: Недра, 1988. – 221 с.
6. **Гарби, Б.** Построение трехмерных моделей - новый подход в решении задач гидрогеологии (Алжир) / Б.Гарби. // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, 2009. - № 2. - С. 80-82.
7. **Гуревич, М.С.** Подземные воды и растворенные газы Западно-Сибирской низменности. / М.С. Гуревич // Тр. ВСЕГЕИ. Л.: Гостехиздат, 1952.
8. **Геология СССР.** т. XLIV. ч.2 / Под ред. Н.Н. Ростовцева – М.: Недра, 1964. – 368 с.
9. **Геологическое строение и нефтегазоносность Западно-Сибирской низменности.** / Под ред. Н.Н. Ростовцева. – М.: Недра, 1965. – 302 с.
10. **Гидрогеология СССР** т.16 / Под ред. В.А. Нуднера. – М.: Недра, 1970. – 368 с.
11. **Ильин, Ю.М.** Западная Сибирь. Палеогеографические схемы стратиграфических горизонтов юры. / Ю.М. Ильин, В.В. Сапьяник, Л.Ф. Найденов. – Тюмень: ЗАО «Тюменский нефтяной научный центр», 2005. – 84 с.
12. **Ицкович, М.В.** Анализ комплекса гидрогеологических данных при изучении

- слабоизученных зон Западно-Сибирского мегабассейна. / М.В. Ицкович, Н.Ю. Галкина. // Академический журнал Западной Сибири/ – 2014. – Т.10. №4 (53). – С.49-51.
13. **Ицкович, М.В.** Особенности гидрогеохимических условий Урненского и Усть-Тегусского месторождений. / М.В. Ицкович, Н.Ю. Галкина, А.Г. Плавник. // Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала Ханты-Мансийского автономного округа - Югры. (Шестнадцатая научно-практическая конференция). Под ред. Шпильмана А.В., Волкова В.А., т.2, Ханты-Мансийск, 2013. – С. 108–112.
  14. **Ицкович, М.В.** К задаче моделирования гидрогеохимического поля глубоких отложений Западно-Сибирского мегабассейна. / М.В. Ицкович, А.Г. Плавник.// Академический журнал Западной Сибири. – 2017. – Т.13. №1 (68). – С.25-29.
  15. **Карцев, А.А.** Теоретические основы нефтегазовой гидрогеологии /А.А. Карцев, Ю.П. Гаттенберг, Л.М. Зорькин. – М.: Недра, 1992. – 208 с.
  16. **Карцев, А.А.** Гидрогеология нефтегазоносных бассейнов. / А.А.Карцев, С.Б.Вагин, В.М. Матусевич. – М.: Недра, 1986. – 224 с.
  17. **Карцев, А.А.** Фундаментальные и прикладные проблемы нефтегазовой гидрогеологии / А.А. Карцев, А.Р. Курчиков, В.М. Матусевич // Материалы Всероссийского совещания по подземным водам востока России. – 2012. – С.328-329.
  18. **Кирюхин, А.В.** Региональная гидрогеология. Учебник для вузов. / А.В.Кирюхин, Н.И. Толстихин. – М: Недра, 1987. – 382 с.
  19. **Ковальчук, А.И.** Формирование химического состава подземных вод Зауралья. / А.И. Ковальчук, Ю.П. Вдовин, А.В. Козлов. – М.: Наука, 1980. – 184 с.
  20. **Колпенская, Н.Н.** Обстановка осадконакопления продуктивных горизонтов верхнеюрских и нижнемеловых отложений восточного борта Большехетской впадины Западно-Сибирской плиты. / Н.Н. Колпенская, И.С. Низяева, Н.В. Танинская, В.В. Шиманский, О.В. Бакуев, Л.Ф. Найденов. // Геология нефти

- и газа. – 2014. – № 6. – С. 2 – 10.
21. **Конторович, А.Э.** Геология нефти и газа Западной Сибири / А.Э. Конторович, И.И. Нестеров, Ф.К. Салманов и др. – М.: Недра, 1975. – 680 с.
  22. **Конторович, А.Э.** Редкие и рассеянные элементы в пластовых водах нефтеносных отложений Западно-Сибирской низменности / А.Э. Конторович // Литология и полезные ископаемые. – 1963. – № 2. – С. 282–287.
  23. **Конторович, А.Э.** Об условиях формирования химического состава подземных вод Западно-Сибирской низменности / А.Э. Конторович, Ю.Г. Зимин // Тр. СНИИГГиМС, вып. 78. – Новосибирск, 1968. – С. 83–95.
  24. **Конторович, А.Э.** Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в юрском периоде. / А.Э. Конторович, В.А. Конторович, С.В. Рыжкова, Б.Н. Шурыгин, Л.Г. Вакуленко, Е.А. Гайдебурова, В.П. Данилова, В.А. Казаненков, Н.С. Ким, Е.А. Костырева, В.И. Москвин, П.А. Ян. // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54, № 8. – С. 972–1012.
  25. **Конторович, А.Э.** Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в меловом периоде. / А.Э. Конторович, С.В. Ершов, В.А. Казаненков, Ю.Н. Карогодин, В.А. Конторович, Н.К. Лебедева, Б.Л. Никитенко, Н.И. Попова, Б.Н. Шурыгин. // Геология и геофизика. – 2014. – Т. 55, № 5-6. – С. 745–776.
  26. **Конторович, В.А.** Мезозойско-кайнозойская тектоника и нефтегазоносность Западной Сибири. Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50 №4. – С. 461–74.
  27. **Конторович, В.А.** Тектоническое строение и история развития Западно-Сибирской геосинеклизы в мезозое и кайнозое / В.А. Конторович, С.Ю. Беляев, А.Э. Конторович и др. // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42, № 11–12. – Рисунок 2 (вкладка): Тектоническая карта юрского структурного яруса Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции.
  28. **Корценштейн, В.Н.** Методика гидрогеологических исследований нефтегазоносных районов / В.Н. Корценштейн. – 3-е изд. – М.: Недра, 1991. – 419 с.
  29. **Крайнов, С.Р.** Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и

- экологические аспекты. / С.Р. Крайнов, Б.Н. Рыженко, В.М. Швец. Отв. Ред. Академик Н.П. Лаверов. – М.:ЦентрЛитНефтегаз, 2012. – 672 с.
30. **Кругликов, Н.М.** Гидрогеология северо-западного борта Западно-Сибирского артезианского бассейна / Н.М. Кругликов. – Л.: Недра, 1964. – 165 с.
31. **Кругликов, Н.М.** Гидрогеология Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна и особенности формирования залежей углеводородов / Н.М.Кругликов, В.В. Нелюбин, О.Н. Яковлев. – Л.: Недра, 1985. – 279 с.
32. **Курчиков, А. Р.** Гидрогеотермические критерии нефтегазоносности. М.:Недра, 1992. – 231 с.
33. **Курчиков, А.Р.** Кластеризация гидрогеохимических данных в задачах оценки прогнозных ресурсов углеводородов нефтегазоносных комплексов Западной Сибири / А.Р. Курчиков, А.Г. Плавник // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50, № 11. – С. 1218–1226.
34. **Курчиков, А.Р.** Современные представления о гидрогеохимических условиях глубоких горизонтов Западно-Сибирского мегабассейна / А.Р.Курчиков, А.Г. Плавник // Горные ведомости. – 2016. – № 5-6 (144-145). – С. 74-85.
35. **Курчиков, А.Р.** К вопросу о пространственном моделировании гидрогеохимических полей. / А.Р. Курчиков, А.Г. Плавник, М.В. Ицкович //Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2015. – №12. – с.4–12.
36. **Курчиков, А.Р.** Количественное сопоставление гидрогеохимических и палеогеографических условий горизонта Ю2 северо-восточной части Широкого Приобья. / А.Р. Курчиков, А.Г. Плавник, М.В. Ицкович // Академический журнал Западной Сибири. – 2015. – Т59, №4 (59). – С.45-49.
37. **Курчиков, А.Р.** Макрокомпонентный состав подземных вод Колтогорско-Толькинской шовной зоны и сопредельных территорий. / А.Р. Курчиков, А.Г. Плавник, М.В. Ицкович. // Академический журнал Западной Сибири. – 2016. – Т.12, №3 (64). – С.30-34.

38. **Курчиков, А.Р.** Содержание йода, брома и бора в подземных водах районов, прилегающих к Колтогорско-Толькинской шовной зоне. / А.Р. Курчиков, А.Г. Плавник, М.В. Ицкович. // Академический журнал Западной Сибири. – 2016. – Т.12, №3 (64). – С.34-37.
39. **Курчиков, А.Р.** Химический состав подземных вод Колтогорско-Толькинской зоны и сопредельных тектонических элементов. / А.Р.Курчиков, А.Г. Плавник, М.В. Ицкович. // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2016. – № 5. – С. 25-33.
40. **Курчиков, А.Р.** Влияние геодинамических процессов на гидрогеохимические и геотермические условия Урненского и Усть-Тегусского месторождений. / А.Р. Курчиков, А.Г. Плавник, М.В.Ицкович, Н.Ю.Галкина, Д.А.Курчиков. // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2013. – №6. – С.14–21.
41. **Курчиков, А.Р.** Особенности фильтрационно-емкостных свойств коллекторов Урненского и Усть-Тегусского месторождений. / А.Р. Курчиков, А.Г. Плавник, Д.А. Курчиков, М.В. Ицкович, Н.Ю. Галкина // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2012. – №9. – С.11–19.
42. **Курчиков, А.Р.** Анализ гидрогеологических условий восточной части ХМАО и прилегающих территорий. / А.Р. Курчиков, А.Г. Плавник, Б.П.Ставицкий, М.В. Ицкович // Всероссийская научно-техническая конференция «Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна», к 100-летию Н.К.Байбакова, 2011. – С. 242-245.
43. **Курчиков, А.Р.** Гидрогеологические условия восточной части ХМАО и прилегающих территорий / А.Р. Курчиков, А.Г. Плавник, Б.П. Ставицкий, М.В. Ицкович // Доклады Всероссийской конференции «80 лет ГИГЭ ТПУ». – 2011. – С. 560–567.
44. **Матусевич, В М.** Геохимия подземных вод Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна. – М.: Недра, 1976. – 157 с.
45. **Матусевич, В.М.** Геодинамическая концепция в современной гидрогеологии



- (на примере Западно-Сибирского мегабассейна). / В.М. Матусевич, Р.Н. Абдрашитова. // *Фундаментальные исследования*, 2013. №. 4.: С.1157–1160.
46. **Матусевич, В.М.** Геодинамика водонапорных систем Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна. / В.М. Матусевич, О.В. Бакуев. // *Советская геология*. – 1986. – №2.– С. 117-122.
47. **Матусевич, В.М.** Нефтегазовая гидрогеология В 2 ч. Ч1. Теоретические основы нефтегазовой гидрогеологии: учебное пособие. / В. М. Матусевич, Л. А. Ковяткина. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2010.– 116 с.
48. **Матусевич, В.М.** Нефтегазовая гидрогеология В 2 ч. Ч.2. Нефтегазовая гидрогеология Западно-Сибирского мегабассейна: учебное пособие./ В. М. Матусевич, Л. А. Ковяткина. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2010.– 108 с.
49. **Матусевич, В.М.** Актуальные проблемы нефтегазовой гидрогеологии Западно-Сибирского мегабассейна / В.М. Матусевич, А.Р. Курчиков, Л.А.Ковяткина // *Материалы Всероссийской научной конференции «Современная гидрогеология нефти и газа. Фундаментальные и прикладные вопросы»*, посвященной 85-летию А.А. Карцева, 2010.
50. **Матусевич, В.М.** Нефтегазовая гидрогеология Западно-Сибирского мегабассейна: Учебное пособие. / В. М. Матусевич, А.Р. Курчиков, Т.В. Семенова, О.Л. Павленко. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2008.– 100 с.
51. **Мироненко, В.А.** Динамика подземных вод: Учебник. / В.А. Мироненко. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2001. – 519 с.
52. **Нестеров, И.И.** Гидрогеологические особенности нефтеносных толщ Западно-Сибирской низменности / И.И. Нестеров, Н.Н. Ростовцев, Б.П. Ставицкий // В сб. *Геологическое строение и нефтегазоносность Западно-Сибирской низменности* / Под ред. д.г.-м.н. Н.Н. Ростовцева. – М.: Недра, 1965. – С. 166–171.
53. **Новиков, Д. А.** Гидрогеология западной части Енисей-Хатангского регионального прогиба. / Д.А. Новиков. // *Нефтегазовая геология. Теория и практика*. – 2013. – Т.8, №1. – С. 881-901.

54. **Новиков, Д.А.** Гидрогеохимия и механизмы формирования состава подземных вод арктических районов Сибири./Д.А. Новиков. // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2014. – Т. 2. № 1. – С. 109-114.
55. **Перельман, А.И.** Геохимия природных вод / А.И. Перельман. – М.: Наука, 1982. – 154 с.
56. **Плавник, А.Г.** Картирование свойств геологических объектов на основе сплайн-аппроксимационного подхода. / Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Новосибирск, 2013. – 248 с.
57. **Плавник, А.Г.** Обобщенная сплайн-аппроксимационная постановка задачи картирования свойств геологических объектов / А.Г. Плавник // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51, № 7. – С. 1027–1037.
58. **Плавник, А.Г.** Оценка устойчивости решения задачи картирования в рамках сплайн-аппроксимационного подхода / А.Г. Плавник // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2010. – №9. – С. 20–27.
59. **Плавник, А.Г.** Особенности постановки и решения задач картирования показателей химического состава подземных вод Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна. / А.Г. Плавник, Н.Ю. Галкина, М.В. Ицкович, В.Е. Лаврунов, А.В. Коростелев, А.И. Павлюков // В сб. Подземные воды востока России. Материалы Всероссийского совещания по подземным водам востока России (XIX совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока). – Тюмень, Тюменский дом печати, 2009. – С.438-441.
60. **Плавник, А.Г.** Анализ гидрогеохимических условий Колтогорско-Толькинской зоны и прилегающих районов. / А.Г. Плавник, М.В. Ицкович.// Академический журнал Западной Сибири. – 2016. – Т.12, №1 (62). – С.17-20.
61. **Плавник, А.Г.** Влияние геодинамических процессов на гидрогеохимические условия Урненского и Усть-Тегусского месторождений / А.Г.Плавник, М.В.Ицкович // В сб. «Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна (опыт, инновации)». Материалы Восьмой Всероссийской научно-технической конференции. Т.2. Тюмень, ТюмГНГУ. – 2012. –

- С.149 –151.
62. **Плавник, А.Г.** Методические аспекты задач типизации и районирования подземных вод Западной Сибири / А.Г. Плавник, А.Р. Курчиков, Б.П.Ставицкий // Известия ВУЗов. Нефть и газ. – 2008. – № 6. – С. 4–12.
  63. **Плавник, А.Г.** Особенности гидрохимического районирования нефтегазоносных резервуаров Западной Сибири. / А.Г.Плавник, А.Р. Курчиков, Б.П. Ставицкий. // Сб. Материалов научно-практической конференции «Теория и практика геолого-экономической оценки разномасштабных нефтегазовых объектов. Актуальные проблемы подготовки и освоения углеводородной сырьевой базы», СПб: ВНИГРИ.2007. – С.262–267.
  64. **Плавник, А.Г.** Районирование многопараметрических данных в постановке задачи картопостроения / А.Г. Плавник, А.Р. Курчиков, Б.П. Ставицкий //Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2009. – № 6. – С. 18–23.
  65. **Плавник, Г.И.** Клиноформенный нефтегазоносный резервуар БВ6-7. / Г.И. Плавник, Е.В. Олейник // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО. / Материалы восьмой научной конференции. – 2005. – С.325-334.
  66. **Плавник, А.Г.** Гидрохимическая характеристика клиноформенных нефтегазоносных резервуаров БВ<sub>4-5</sub>, БВ<sub>6-7</sub> И БВ<sub>8-9</sub>. / А.Г.Плавник, Г.И.Плавник, М.В.Ицкович, Е.В.Олейник Пути реализации нефтегазового потенциала Ханты-Мансийского автономного округа. Том 1 (Десятая научно-практическая конференция). Под ред. Карасева В.И., Шпильмана А.В., Волкова В.А. – 2007. – С.205-212
  67. **Плавник, А.Г.** К оценке достоверности картирования свойств геологических объектов в рамках сплайн-аппроксимационного подхода / А.Г. Плавник, А.Н. Сидоров // Сибирский журнал индустриальной математики. – 2012. – Т. XV, № 1 (49). – С. 66–76.
  68. **Плавник, А.Г.** Построение гидрогеохимических разрезов с учётом структурно-литологического строения отложений. / А.Г. Плавник,

- А.Н.Сидоров, М.В. Ицкович. // Академический журнал Западной Сибири. – 2015. – Т.11, №2 (57). – С.79-82.
69. **Попов, А.Ю.** Палеогеографические реконструкции для северо-восточной части Широкого Приобья на время формирования нефтегазоносного горизонта Ю<sub>2</sub>. / А.Ю. Попов, Л.Г. Вакуленко, В.А. Казаненков, П.А. Ян. // Геология и геофизика. – 2014. – Т. 55, № 5-6. – С.777–786.
70. **Посохов, Е В.** Формирование химического состава подземных вод (Основные факторы). Л.: Гидрометеорологическое изд-во. 1969. – 334 с.
71. **Радченко, А.В.** Динамически напряженные зоны литосферы – активные каналы энерго-массопереноса / А.В. Радченко, О.С. Мартынов, В.М.Матусевич / Том 2. Тюмень, «Тюменский дом печати». 2012. – 255 с.
72. **Радченко, А.В.** Особенности построений разломно-блочных моделей исследуемых площадей углеводородных месторождений / А.В. Радченко, О.С. Мартынов, М.С. Мимеев / Академический журнал Западной Сибири. – 2013. – Т. 9, № 2 (45). – С. 57-60.
73. **Розин, А.А.** Подземные воды Западно-Сибирского артезианского бассейна и их формирование / А.А. Розин. – Новосибирск: Наука, 1977. – 101 с.
74. **Ростовцев, Н.Н.** Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности Западно-Сибирской низменности / Н.Н. Ростовцев. – М.: Госгеотехиздат, 1958. – 391 с.
75. **Рудкевич, М.Я.** Нефтегазоносные комплексы Западно-Сибирского бассейна / М.Я. Рудкевич, Л.С. Озеранская, Н.Ф. Чистякова. – М.: Недра, 1988. – 303с.
76. **Свидетельство** о регистрации программы GST в Реестре программ для ЭВМ Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам № 2005612939 / А.Н. Сидоров, А.Г. Плавник, А.А. Сидоров и др. – 2005.
77. **Силич, В.Е.** Формирование глубинных опресненных вод северных районов Западной Сибири. / В.Е. Силич // Тр. ЗапСибНИГНИ, вып. 174. – Тюмень, 1982. – С. 70–81.
78. **Ставицкий, Б.П.** Эффективность гидрогеологических исследований при

- оценке природных ресурсов Тюменской области. Тюмень: Тр. ЗапСибНИГНИ, вып. 147. – 1979. – 110 с.
79. **Ставицкий, Б.П.** Анализ природы неоднородности химического состава подземных вод палеозойских отложений. / Б.П. Ставицкий, А.Г.Плавник, М.В.Ицкович. // Третья всероссийская научно-техническая конференция “Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна”. – 2004. – С.18-19.
80. **Ставицкий, Б.П.** Вертикальная и латеральная гидрохимическая зональность, типизация подземных вод Западно-Сибирского бассейна / Б.П. Ставицкий, А.Р. Курчиков, А.Э. Конторович, А.Г. Плавник // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2006. – № 5/6. – С. 58–84.
81. **Ставицкий, Б.П.** Формирование модели структуры гидрохимического поля Западно-Сибирского нефтегазосного бассейна / Б.П. Ставицкий, А.Р.Курчиков, А.Э. Конторович, А.Г. Плавник // Материалы Международной конференции «Фундаментальные проблемы нефтегазовой гидрогеологии». – М.:ГЕОС, 2005. – С. 171–176.
82. **Ставицкий, Б.П.** Гидрогеохимическая зональность подземных вод ХМАО./ Б.П. Ставицкий, А.Р. Курчиков, А.Г.Плавник. // Пути реализации нефтегазового потенциала Ханты-Мансийского автономного округа. Том 3 (Седьмая научно-практическая конференция). Под ред. Карасева В.И., Ахпателова Э.А., Волкова В.А. Ханты-Мансийск. – 2004. – С.213–225
83. **Ставицкий, Б.П.** Гидрогеохимическая зональность юрских и меловых отложений Западно-Сибирского бассейна/ Б.П. Ставицкий, А.Р. Курчиков, А.Э. Конторович, А.Г. Плавник // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2004. – Т.45, № 7. – С. 826-832.
84. **Сурков, В.С.** Нижнесреднеюрские отложения юга Западной Сибири (геохимия, гидрогеология, нефтегазоносность) / В.С. Сурков, А.М. Казаков, В.П. Девятов и др. // Геология нефти и газа. – 1999. – № 3-4. – С. 3–11.

85. **Тектоническая** карта центральной части Западно-Сибирской плиты. Масштаб 1:2000000. Под ред. В.И. Шпильмана, Н.И. Змановского, Л.Л.Подсосовой. – 1998.
86. **Торгованова, В.Б.** Воды и газы палеозойских и мезозойских отложений Западной Сибири / В.Б. Торгованова, Н.В. Дуброва, Н.М. Кругликов.– Л.: Гостоптехиздат, 1960.– 460 с.
87. **Торопов, С.В.** Программа построения региональных карт в изолиниях /С.В. Торопов // Пакет программ решения задач геологии нефти и газа. Тр.ЗапСибНИГНИ, вып. 161. – Тюмень, 1981. – С. 43–52.
88. **Чистякова, Н.Ф.** Гидрогеохимические показатели условий формирования залежей углеводородов (на примере Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна) / Н.Ф. Чистякова, М.Я. Рудкевич // Геология нефти и газа. – 1993. – №5 – С.1-7.
89. **Шварцев, С.Л.** Природа вертикальной гидрогеохимической зональности нефтегазоносных отложений (на примере Надым-Тазовского Междуречья, Западная Сибирь). / С.Л. Шварцев, Д.А. Новиков. //Геология и Геофизика – 2004. – №45 (8) – С.1008–1020.
90. **Шварцев, С.Л.** Общая гидрогеология / С.Л. Шварцев. – М.: Недра, 1996. – 423 с.
91. **Barthel, R. A.** Call for more fundamental science in regional hydrogeology // Hydrogeology Journal. – 2014. – Т. 22, № 3. – С. 507–510.
92. **Hunter, F.M.I.** Calibration of regional palaeohydrogeology and sensitivity analysis using hydrochemistry data in site investigations / F.M.I. Hunter, L.J.Hartley, A. Hoch, C.P. Jackson, R. McCarthy, N. Marsic, B. Gylling // Applied Geochemistry. – 2008. – Т. 23, № 7. – С. 1982–2003.
93. **Montcoudiol, N.** Groundwater geochemistry of the Outaouais Region (Québec, Canada): a regional-scale study / N. Montcoudiol, J. Molson, J.-M. Lemieux // Hydrogeology Journal. – 2014. – Т. 23, № 2. – С. 377–396.
94. **Wang, J.** Discovering geochemical patterns by factor-based cluster analysis / J.Wang, R. Zuo, J. Caers // Journal of Geochemical Exploration. – 2017. – Т. 181. –С. 106–115. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.07.006>

**ПРИЛОЖЕНИЕ А. ИТОГИ КВАЗИТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В  
ВИДЕ СЕРИИ РАЗРЕЗОВ**

Рисунок 1 - Изменение минерализации подземных вод (а) и коэффициента устойчивости (б) по линиям субширотных разрезов 1-8

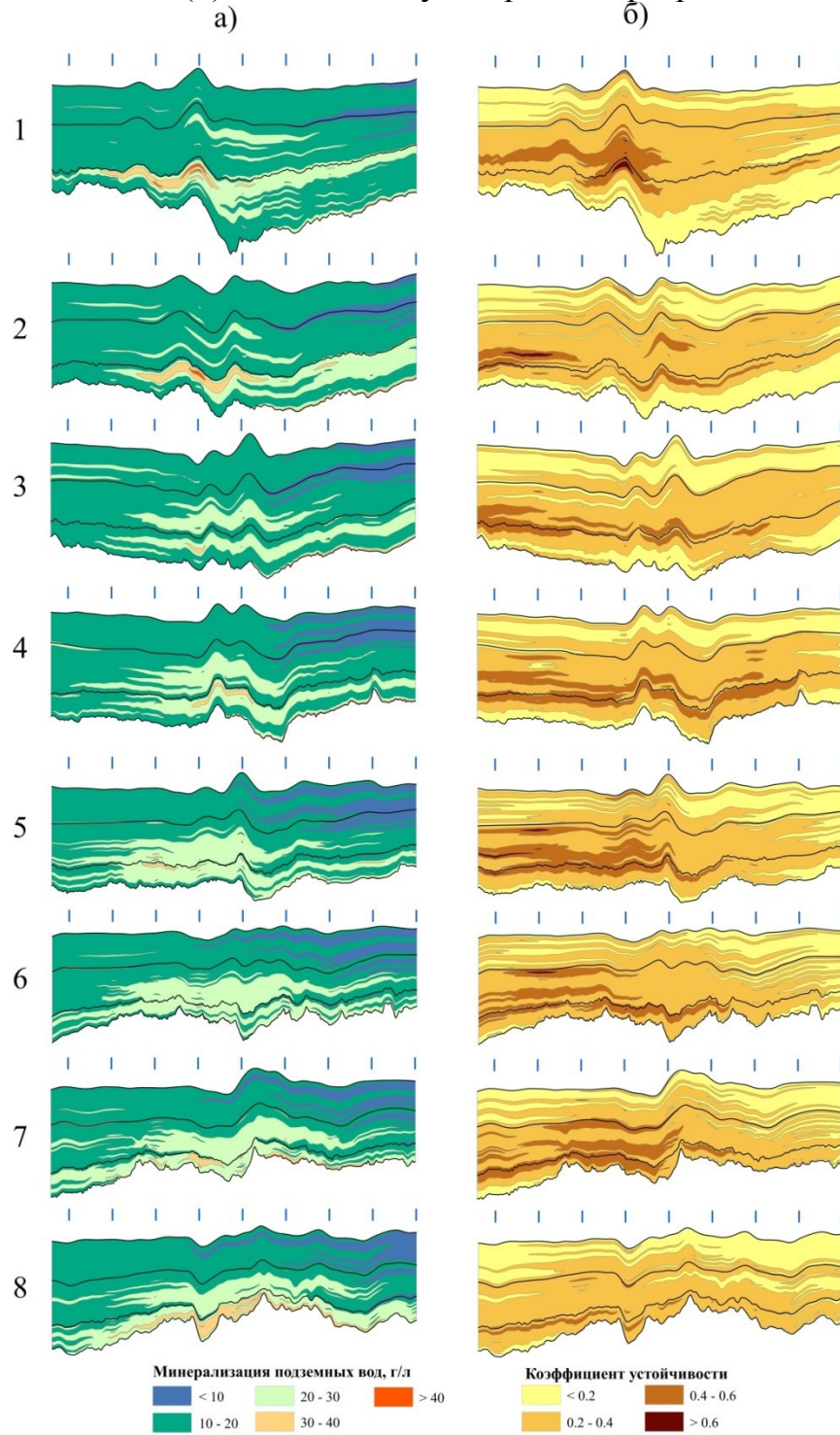




Рисунок 2 - Изменение минерализации подземных вод (а) и коэффициента устойчивости (б) по линиям субширотных разрезов 9-13

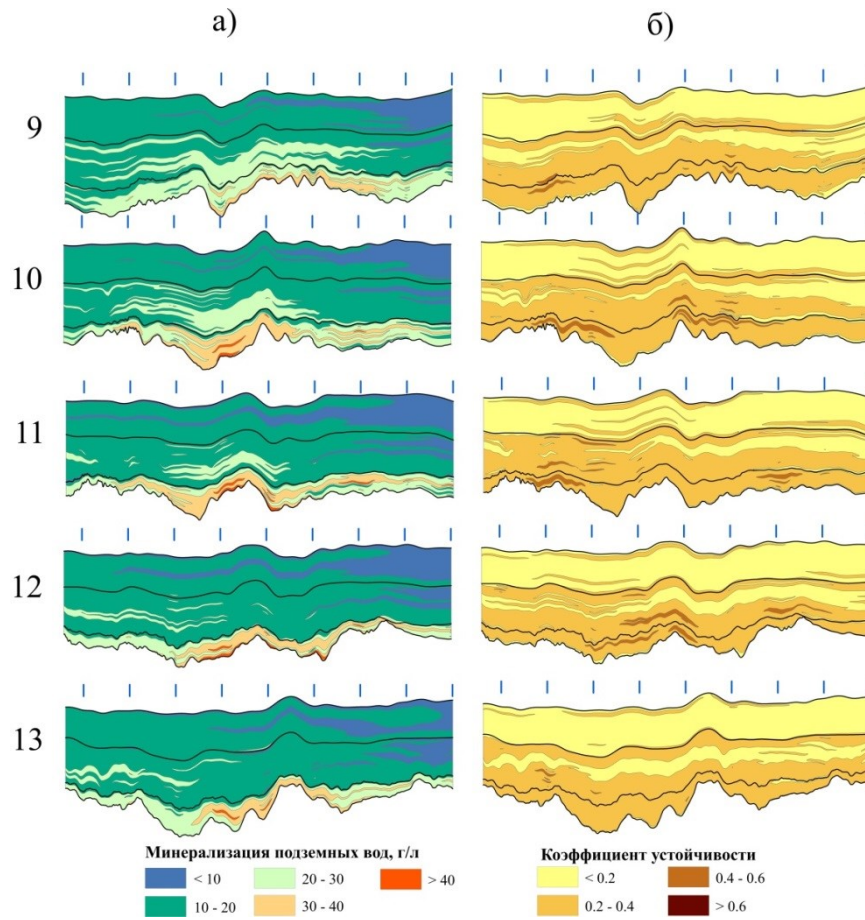


Рисунок 3 - Изменение минерализации подземных вод (а) и коэффициента устойчивости (б) по линиям субмеридиональных разрезов 14-22

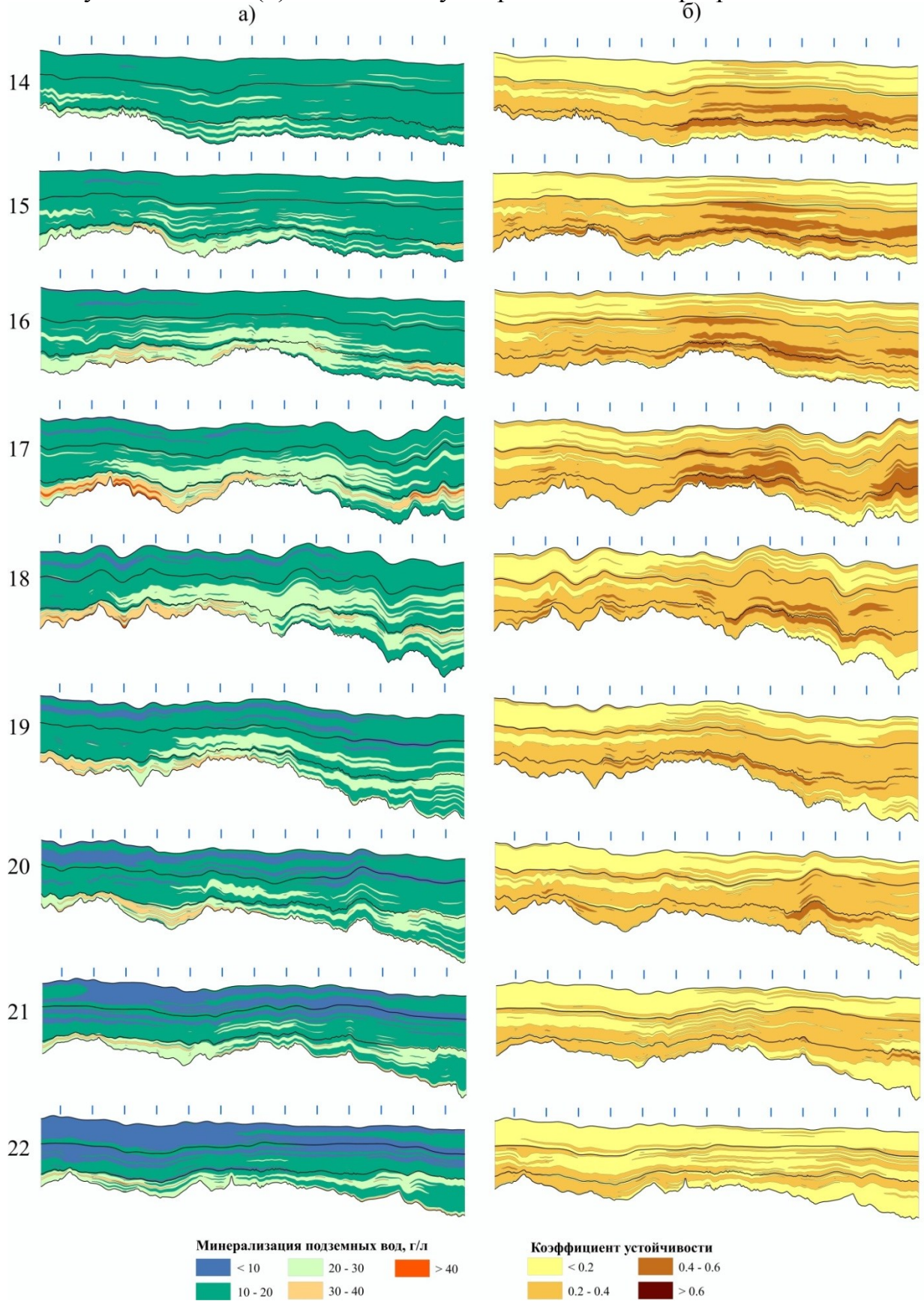




Рисунок 4 - Содержание кальция в подземных водах (а) и коэффициента устойчивости (б) по линиям субширотных разрезов 1-8

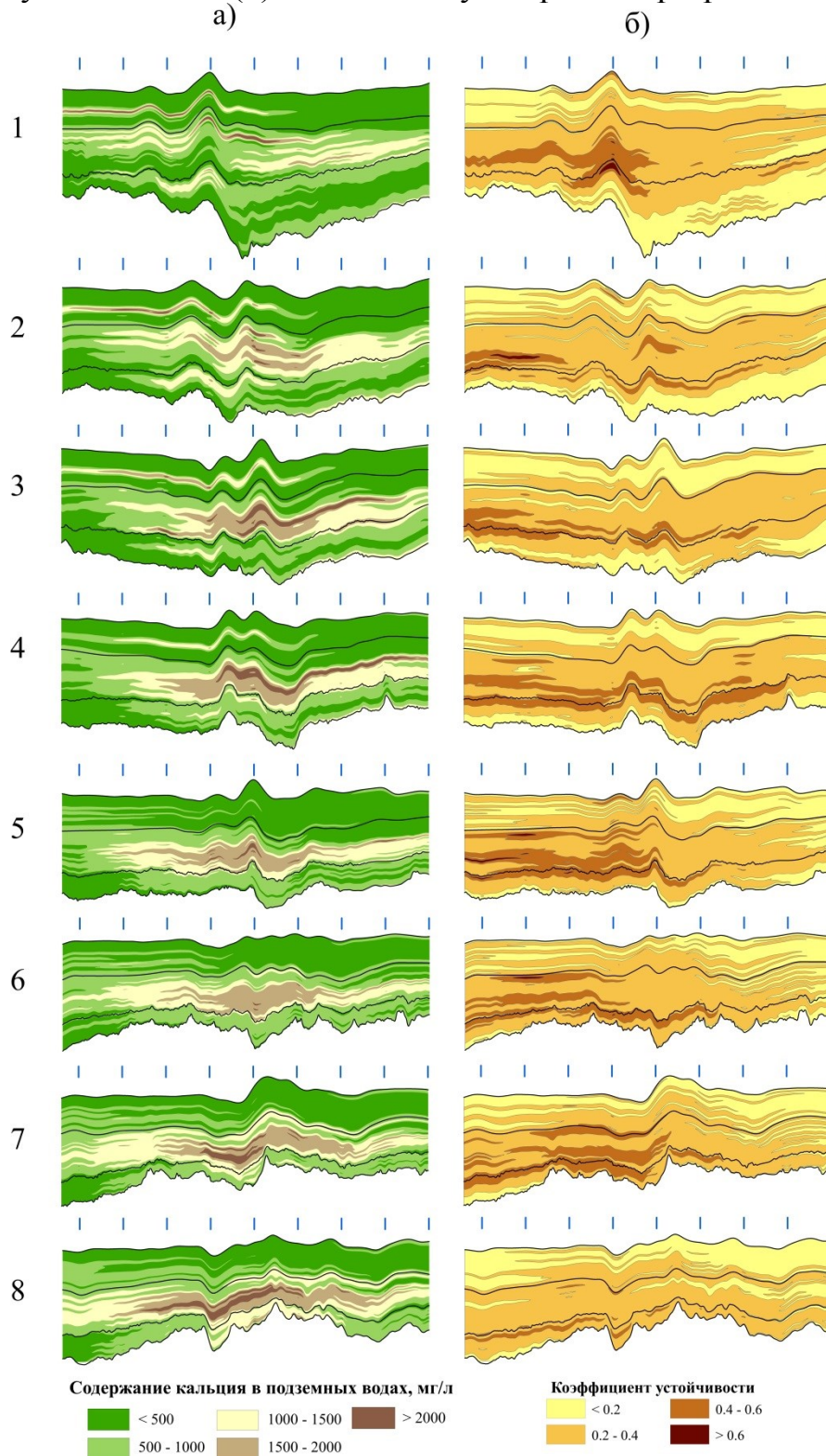


Рисунок 5 - Содержание кальция в подземных водах (а) и коэффициента устойчивости (б) по линиям субширотных разрезов 9-13

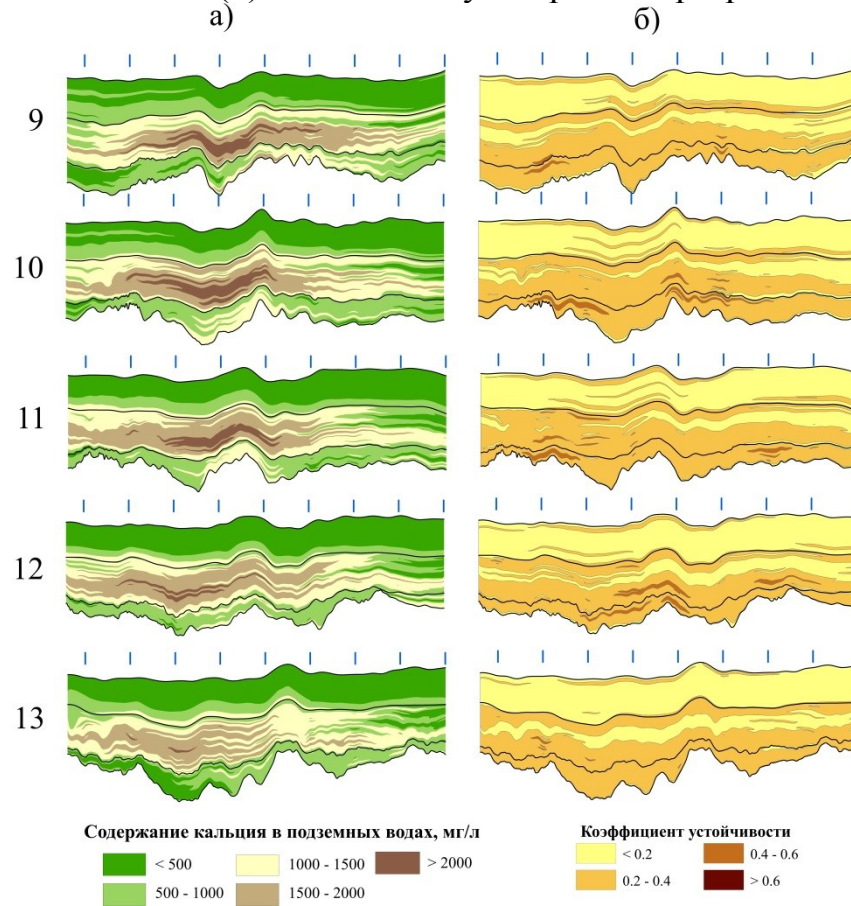




Рисунок 6 - Содержание кальция в подземных водах (а) и коэффициента устойчивости (б) по линиям субмеридиональных разрезов 14-22

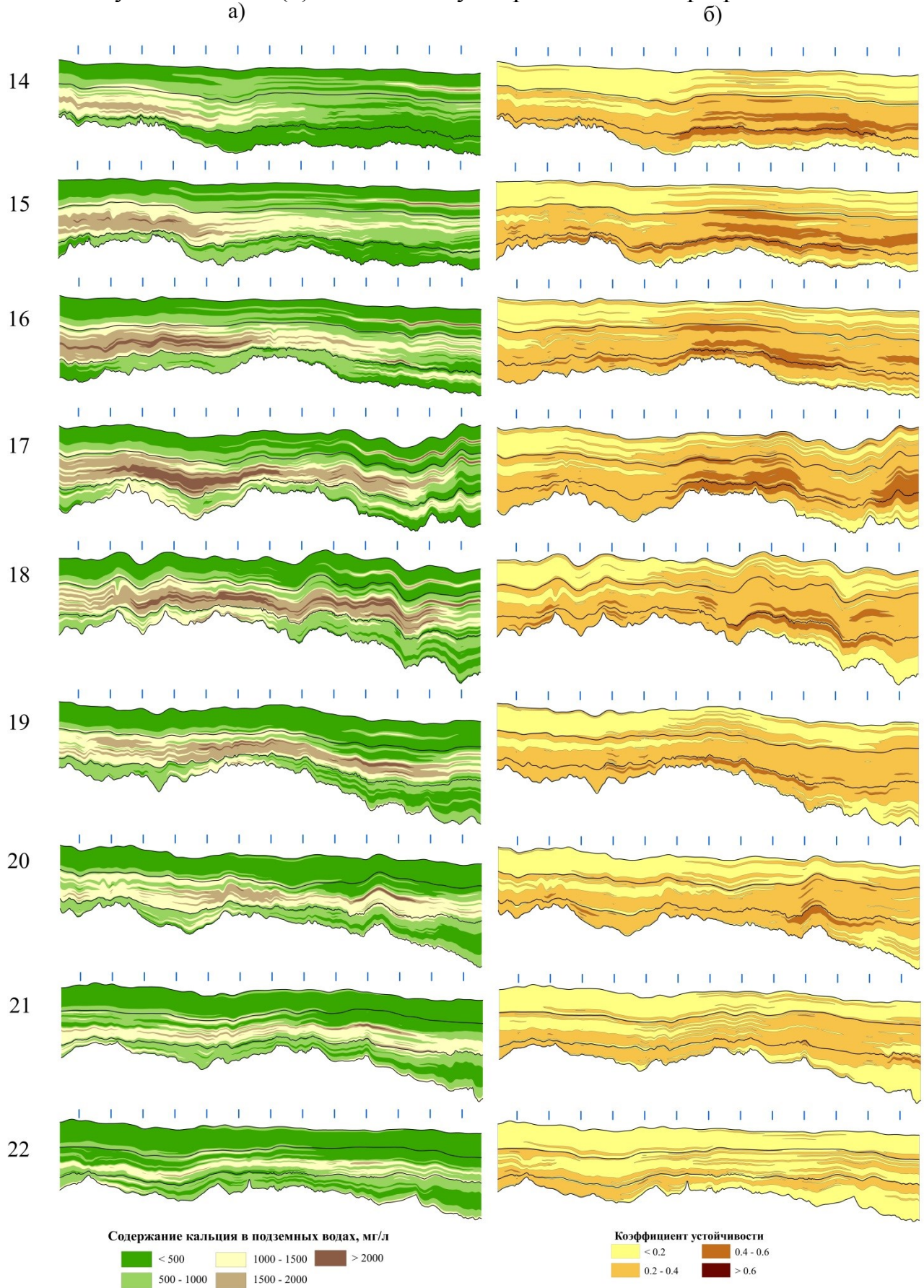


Рисунок 7 - Содержание гидрокарбоната в подземных водах (а) и коэффициента устойчивости (б) по линиям субширотных разрезов 1-8

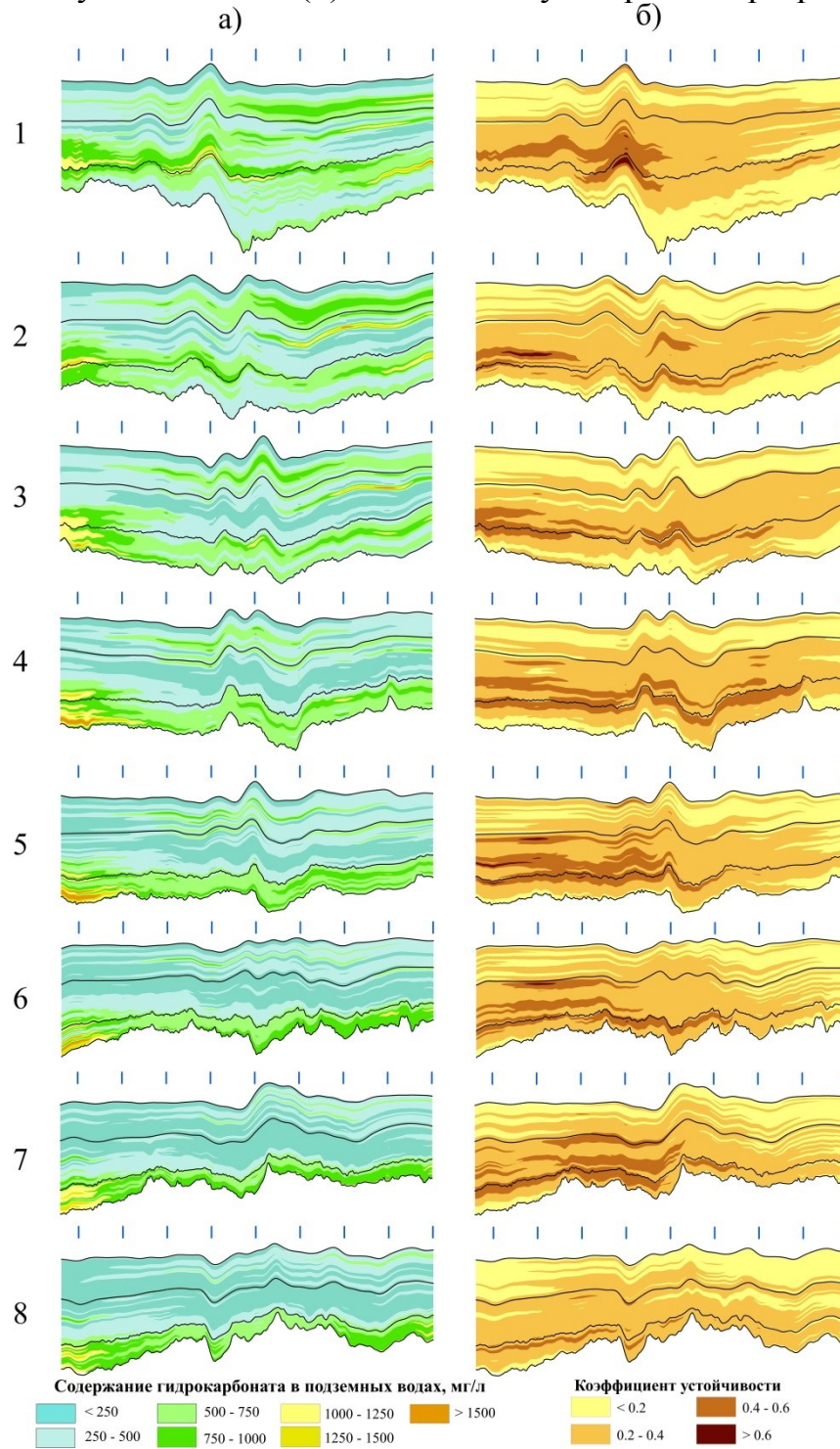






Рисунок 9 - Содержание гидрокарбоната в подземных водах (а) и коэффициента устойчивости (б) по линиям субмеридиональных разрезов 14-22

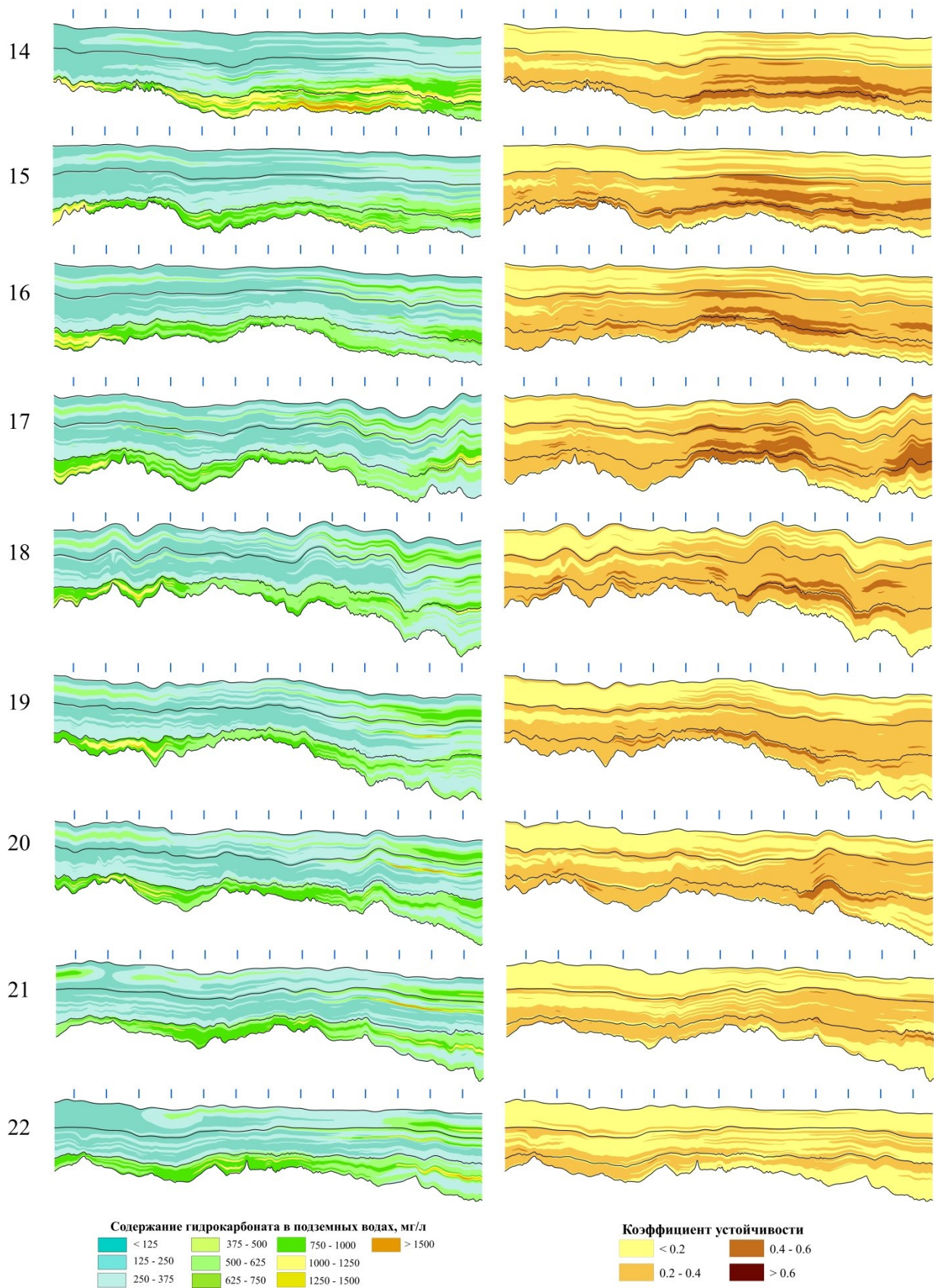




Рисунок 10 - Содержание йода в подземных водах (а) и коэффициента устойчивости (б) по линиям субширотных разрезов 1-8

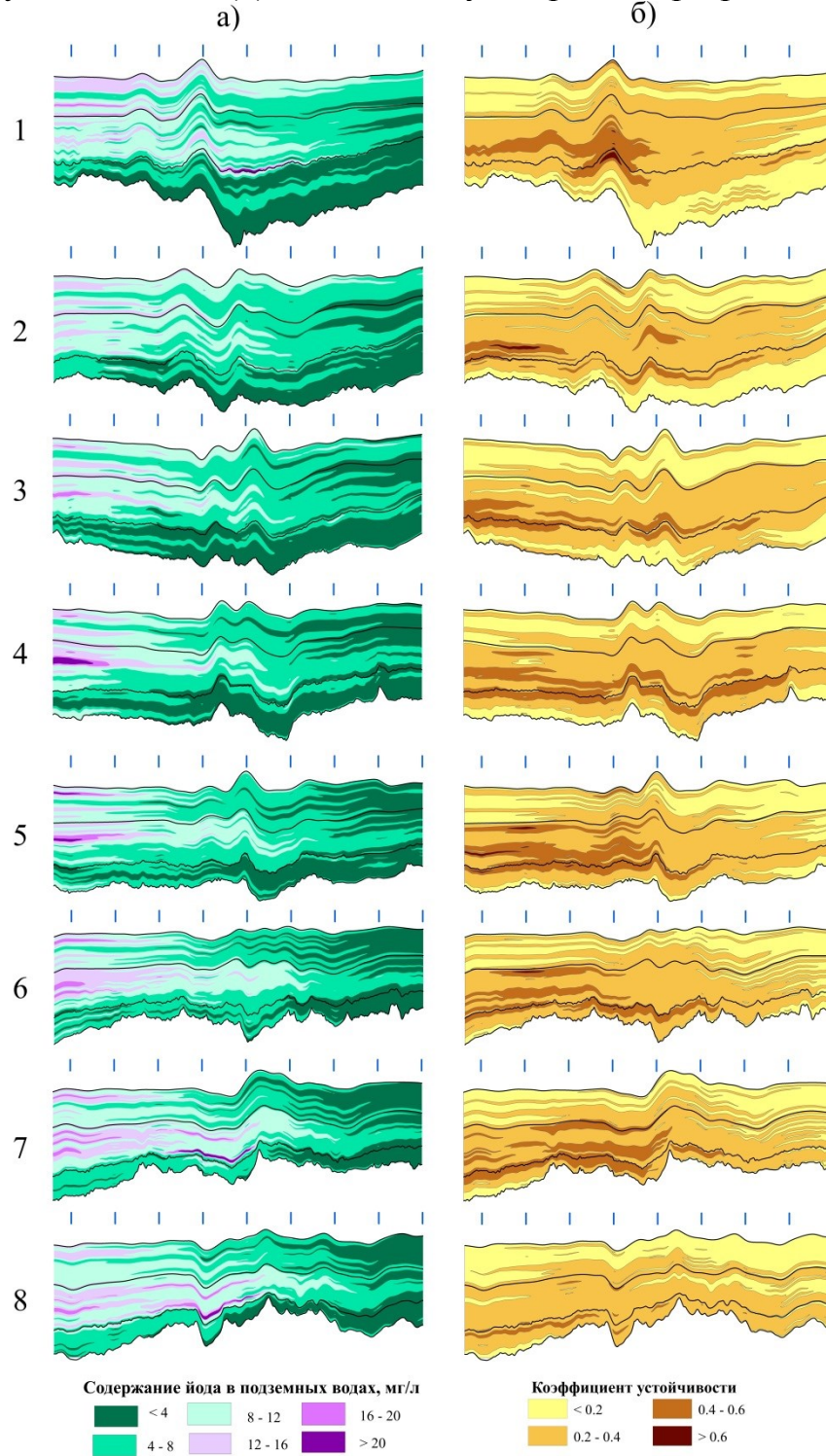


Рисунок 11 - Содержание йода в подземных водах (а) и коэффициента устойчивости (б) по линиям субширотных разрезов 9-13

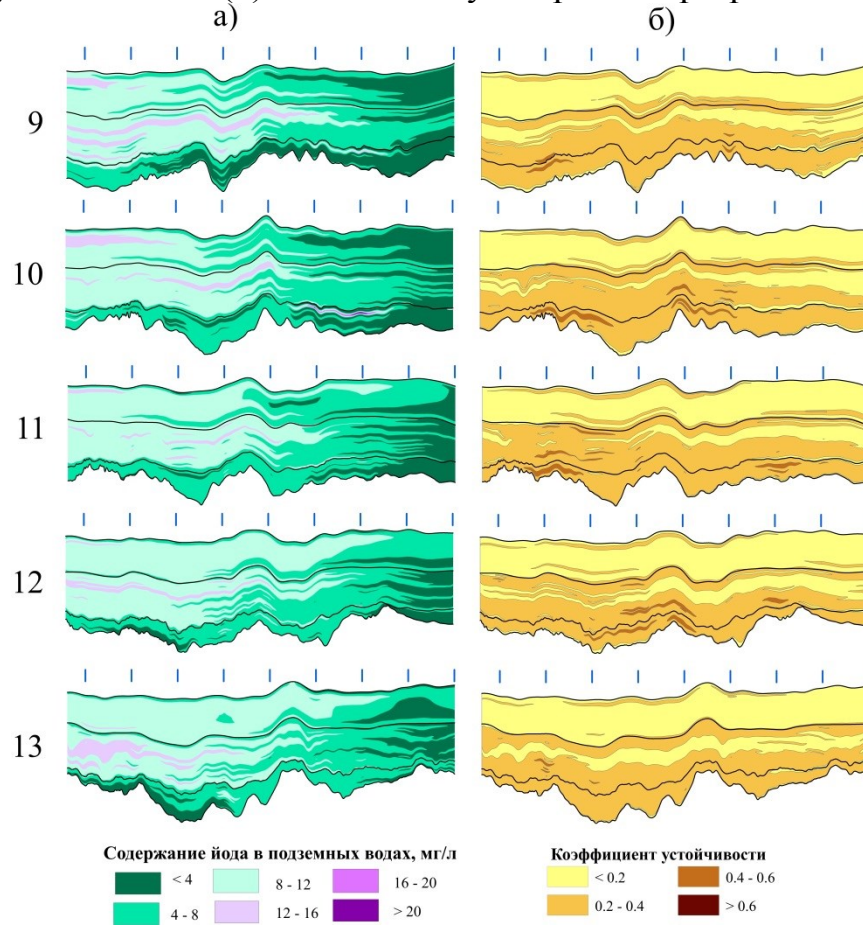




Рисунок 12 - Содержание йода в подземных водах (а) и коэффициента устойчивости (б) по линиям субмеридиональных разрезов 14-22

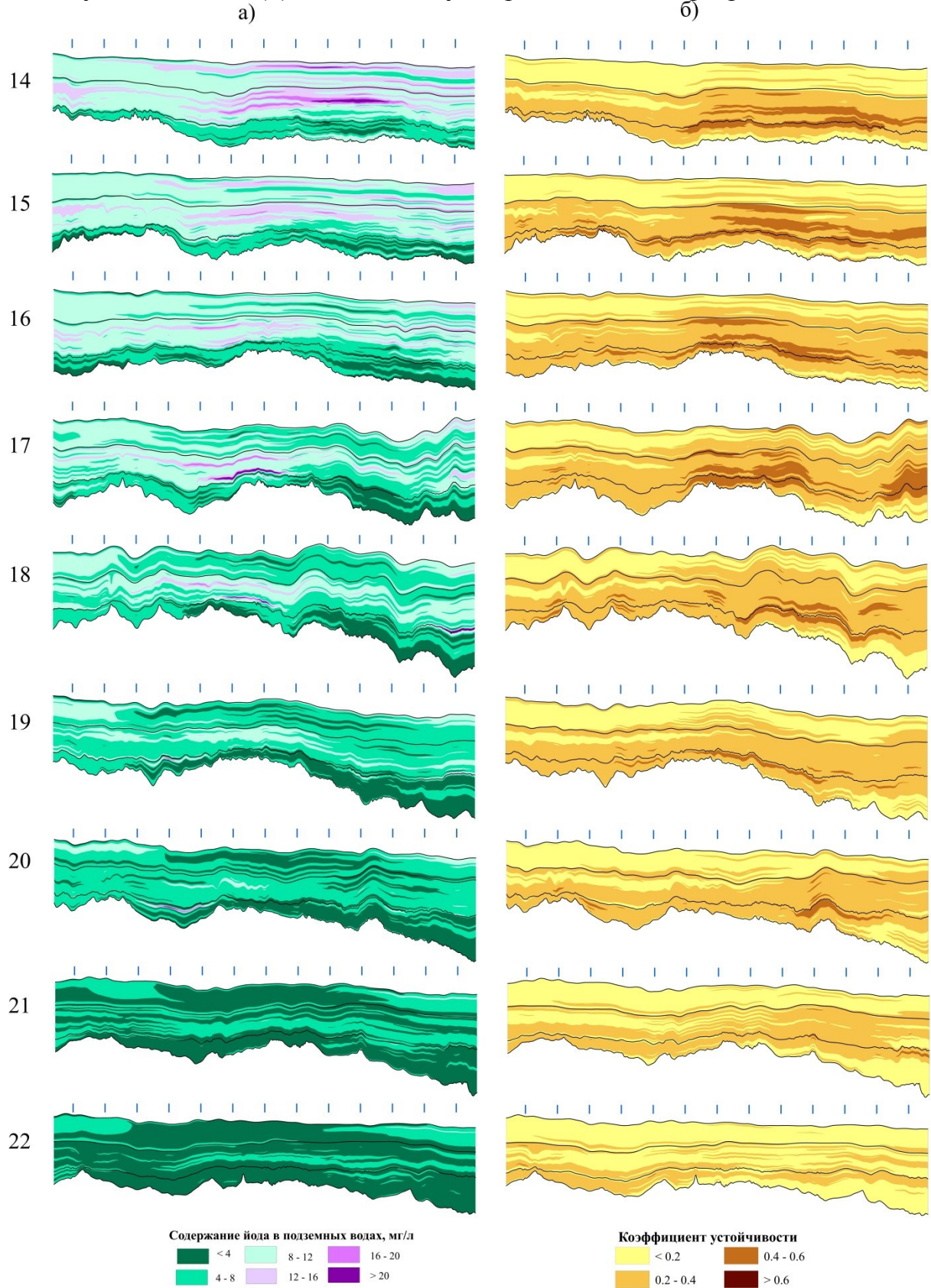


Рисунок 13 - Содержание брома в подземных водах (а) и коэффициента устойчивости (б) по линиям субширотных разрезов 1-8

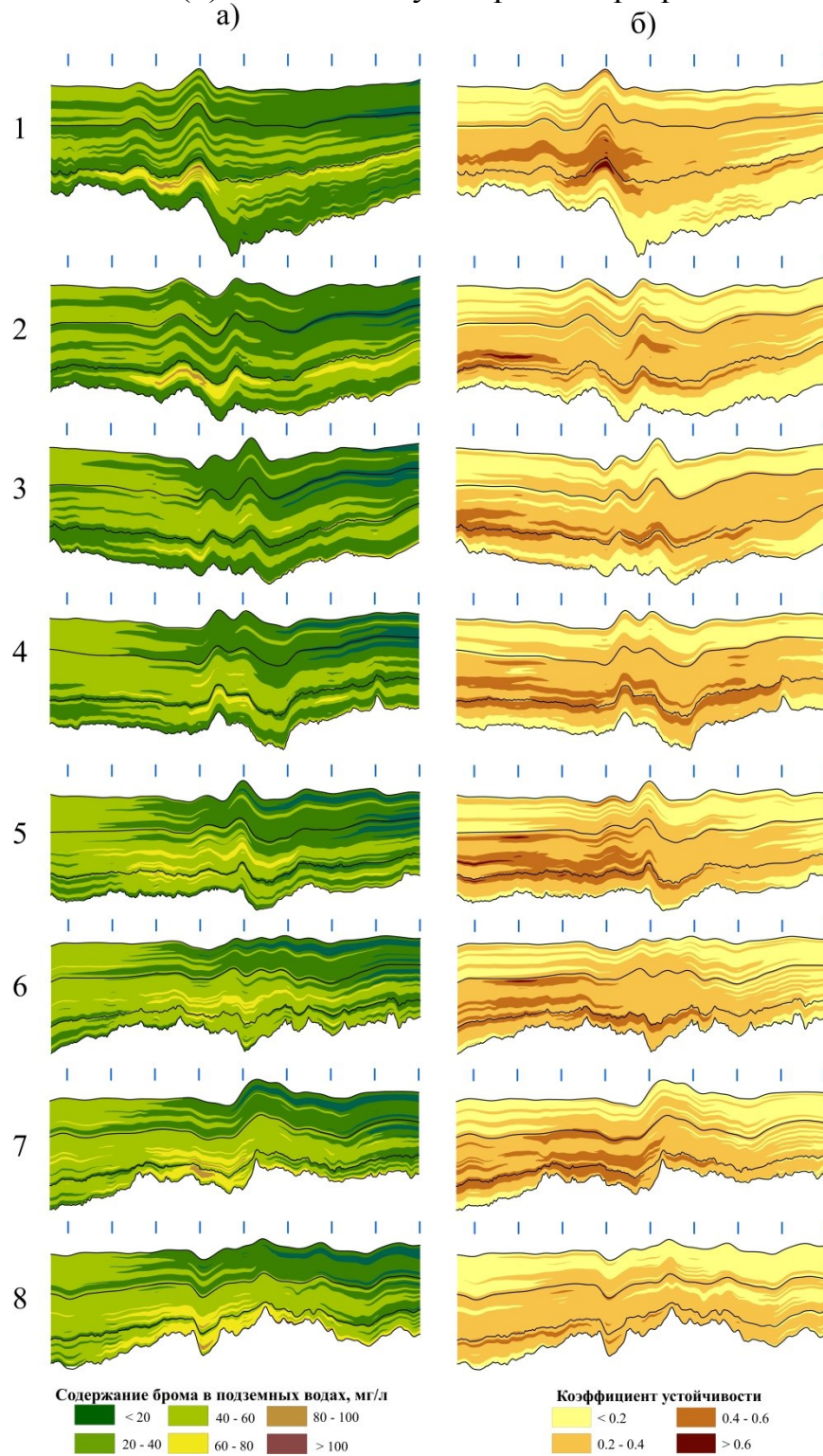




Рисунок 14 - Содержание брома в подземных водах (а) и коэффициента устойчивости (б) по линиям субширотных разрезов 9-13

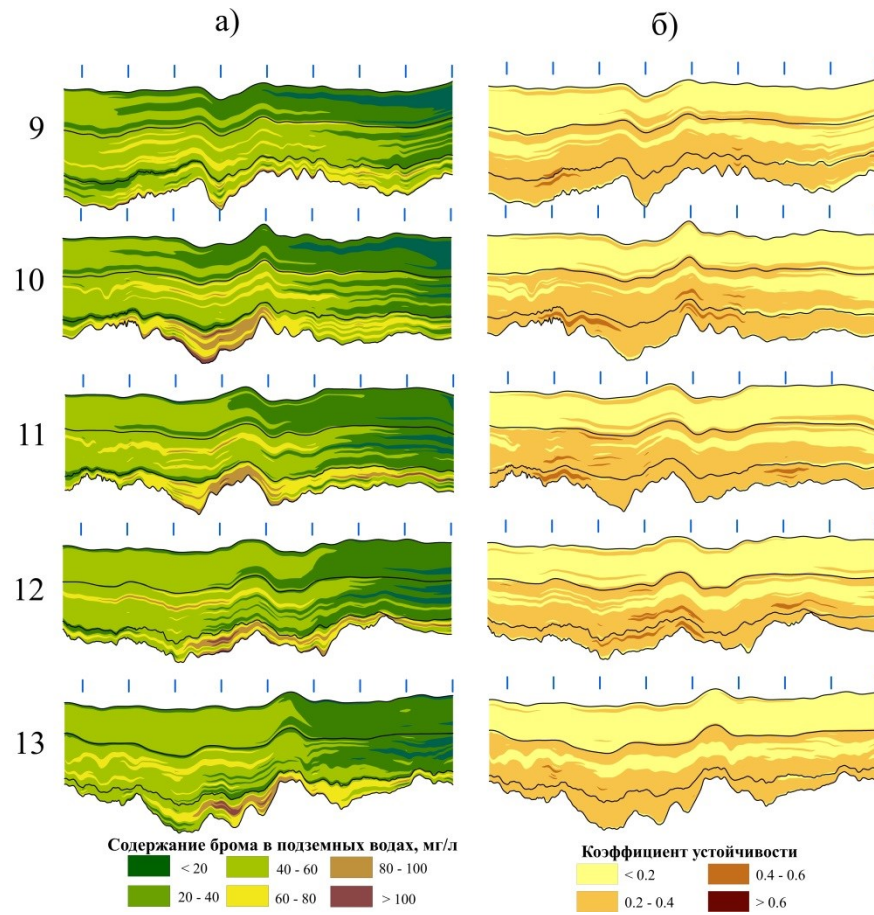
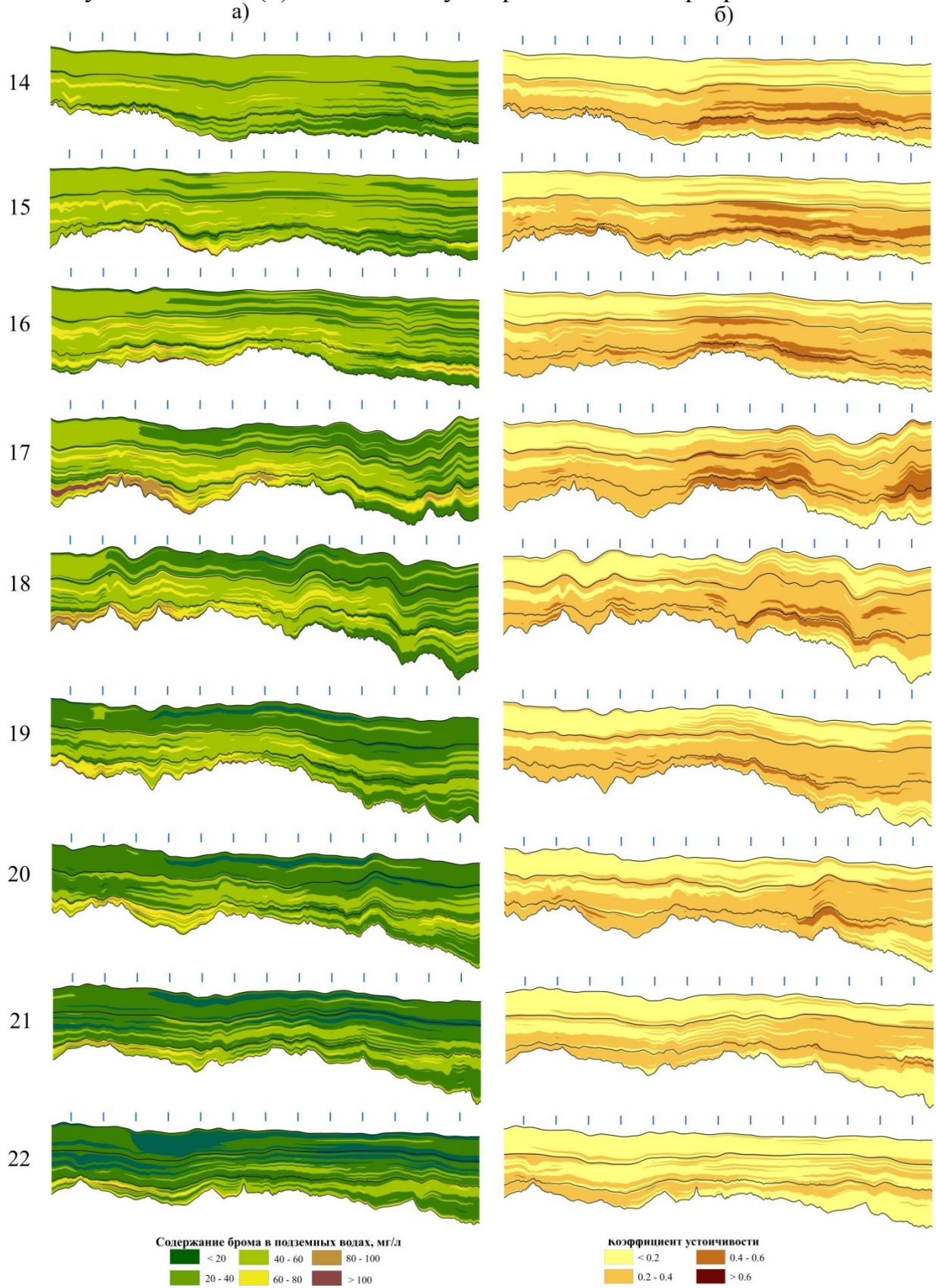


Рисунок 15 - Содержание брома в подземных водах (а) и коэффициента устойчивости (б) по линиям субмеридиональных разрезов 14-22





**ПРИЛОЖЕНИЕ Б. РЕЗУЛЬТАТЫ КАРТИРОВАНИЯ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПО ДАННЫМ РАСЧЕТА КВАЗИТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ**

*Рисунок 16 - Изменение минерализации подземных вод (а, б, в – верхней, средней, нижней части покурской свиты; г – вартовской свиты; д – мегионской свиты; е – васюганской свиты; ж – тюменской свиты; з – котухтинской свиты)*

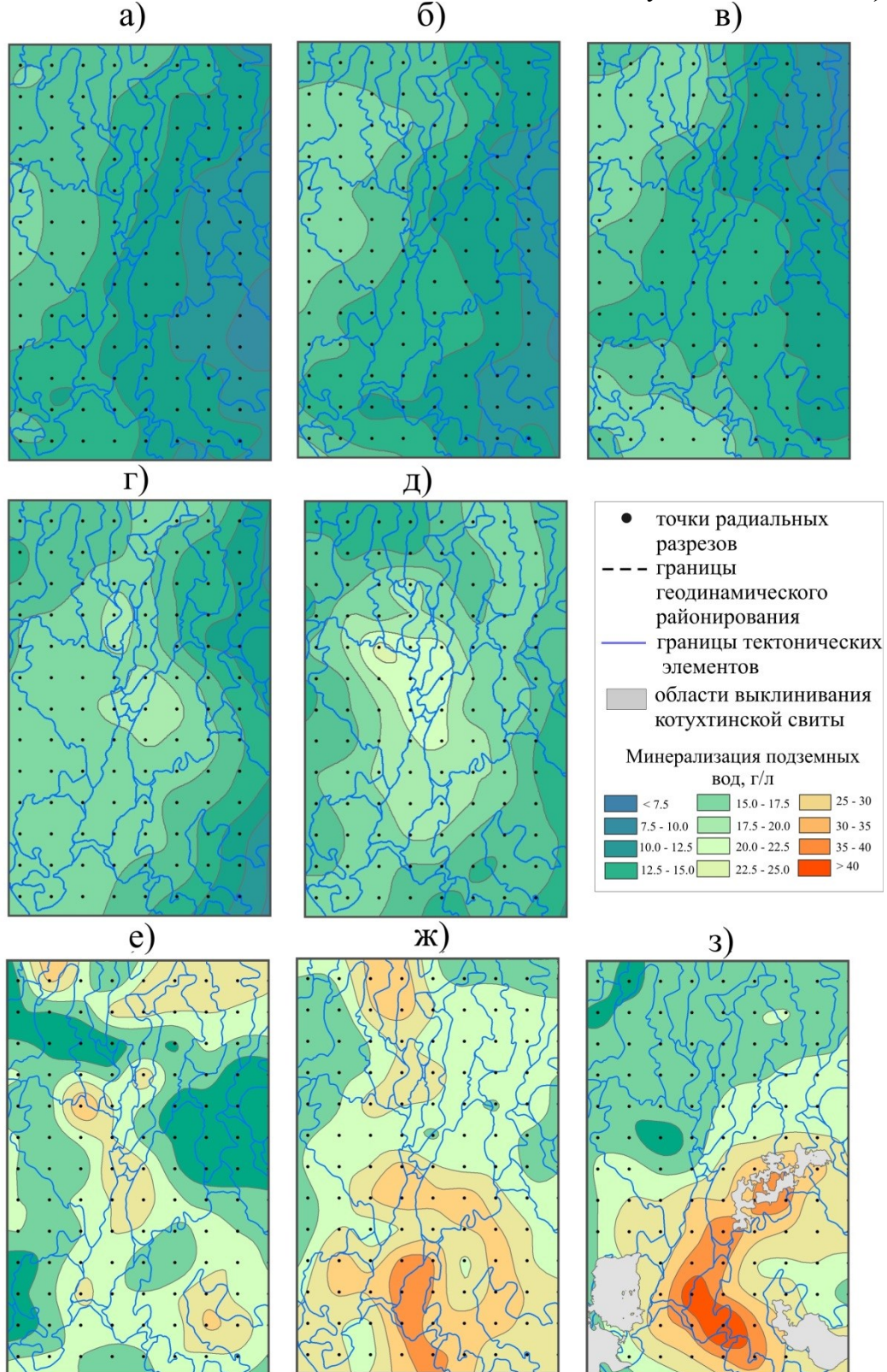




Рисунок 17 - Изменение содержания кальция в подземных водах  
(а, б, в – верхней, средней, нижней части покурской свиты; г – вартовской свиты;  
д – мегинской свиты; е – васюганской свиты; ж – тюменской свиты; з –  
котухтинской свиты)

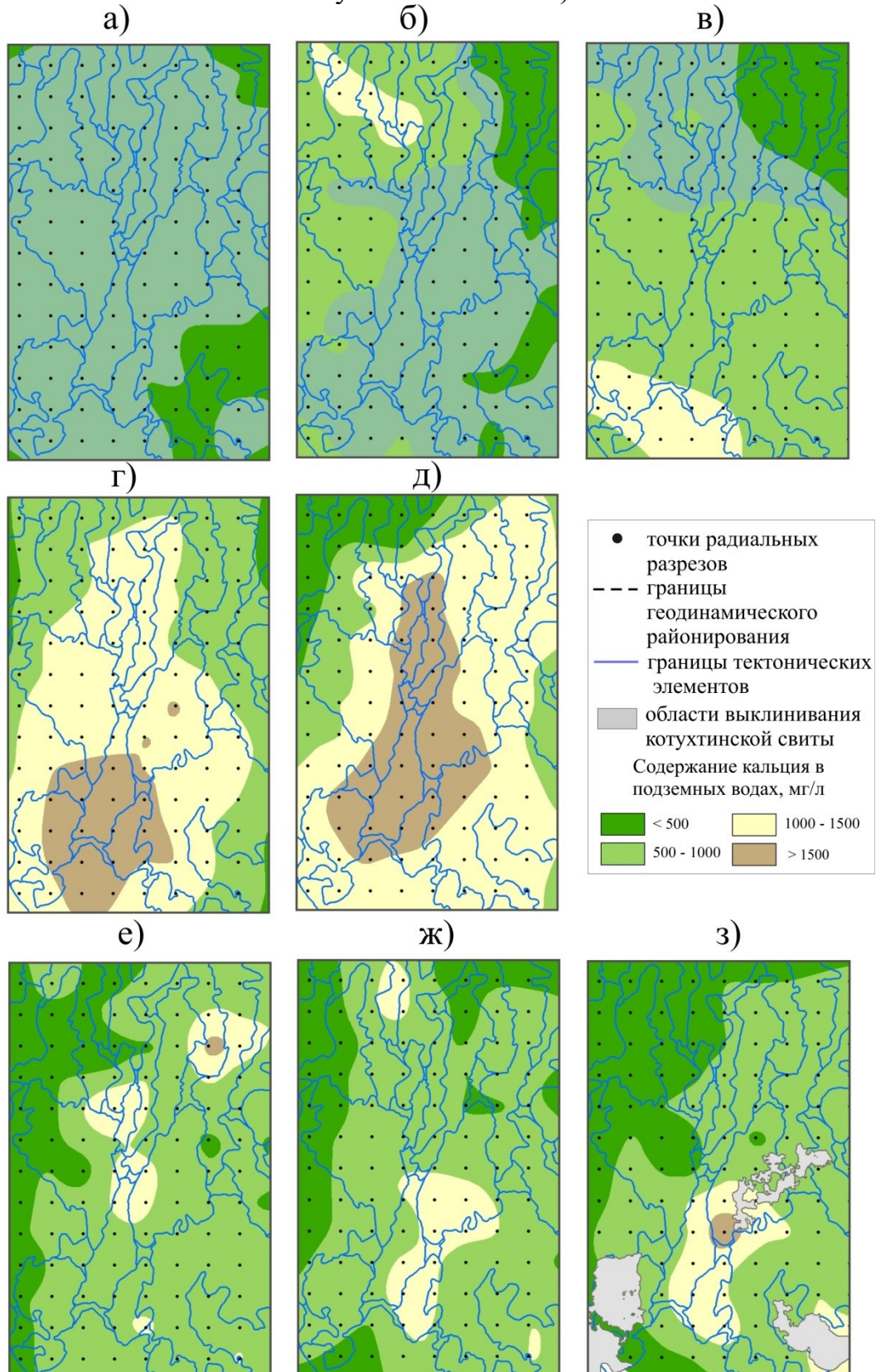




Рисунок 18 - Изменение содержания гидрокарбоната в подземных водах (а, б, в – верхней, средней, нижней части покурской свиты; г – вартовской свиты; д - мегионской свиты; е - васюганской свиты; ж - тюменской свиты; з - котухтинской свиты)

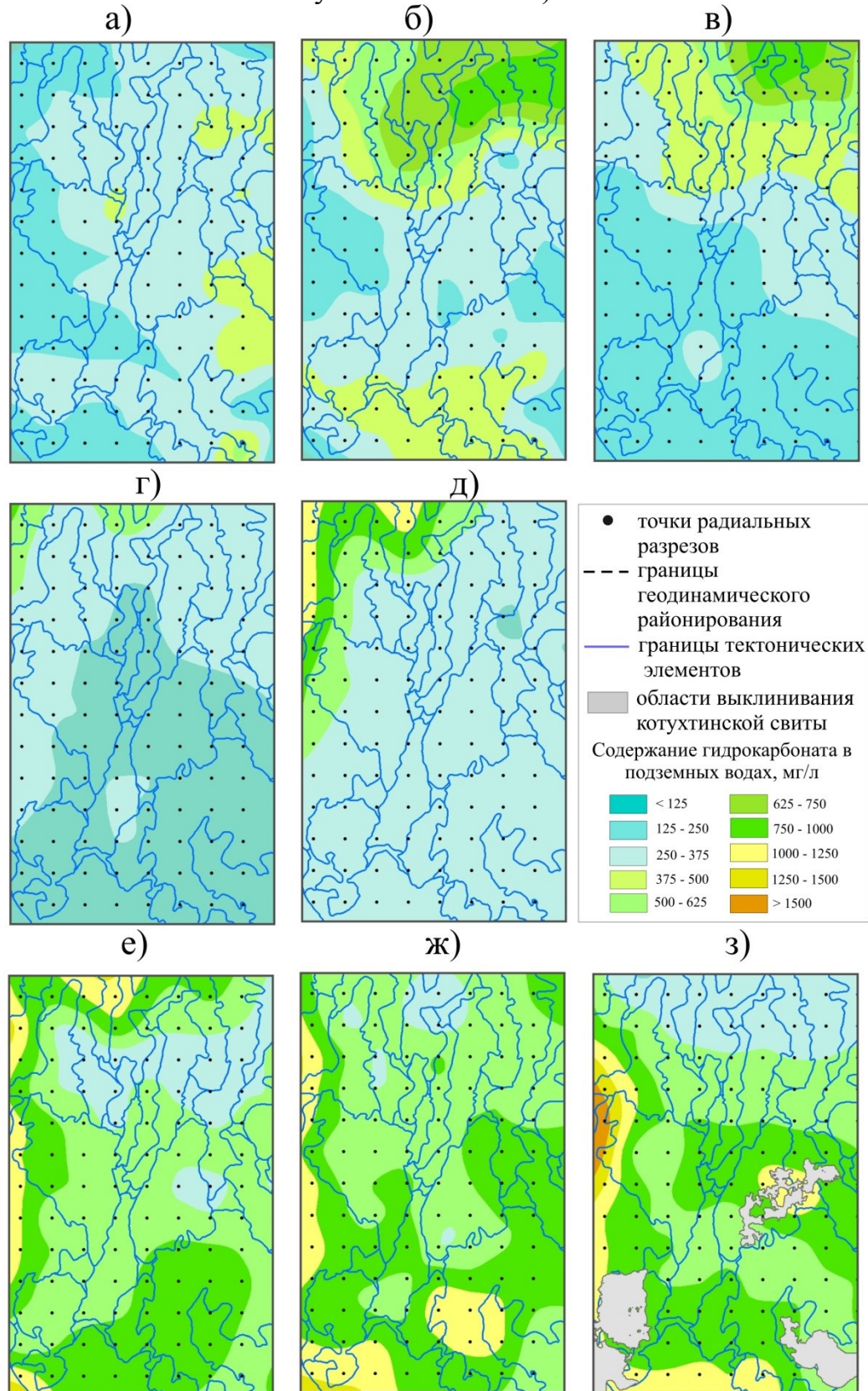




Рисунок 19 - Изменение содержания брома в подземных водах  
 (а, б, в – верхней, средней, нижней части покурской свиты; г – вартовской свиты;  
 д - мегинской свиты; е - васюганской свиты; ж - тюменской свиты;  
 з - котухтинской свиты)

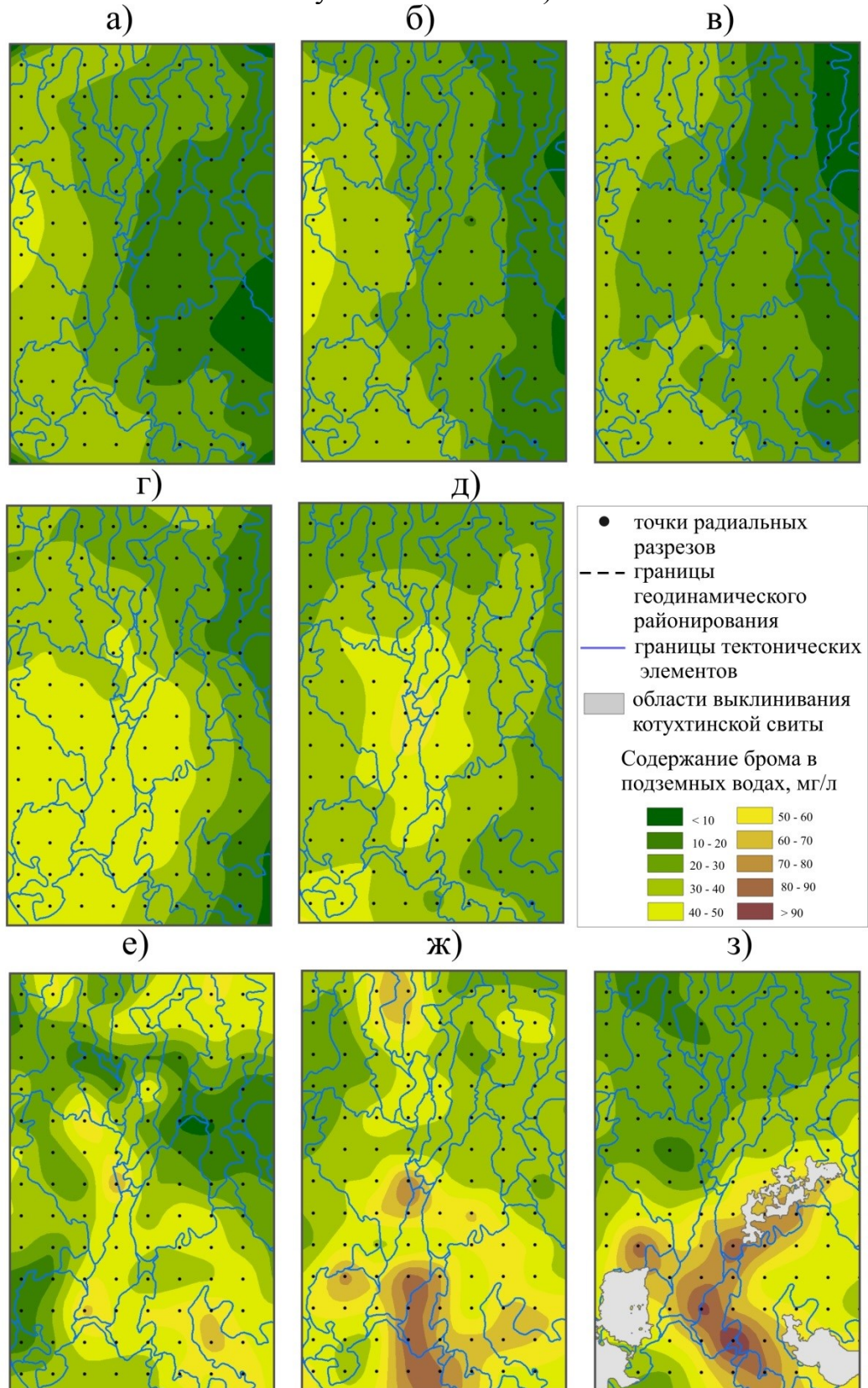


Рисунок 20 - Изменение содержания йода в подземных водах  
 (а, б, в – верхней, средней, нижней части покурской свиты; г – вартовской свиты;  
 д - мегионской свиты; е - васюганской свиты; ж - тюменской свиты;  
 з - котухтинской свиты)

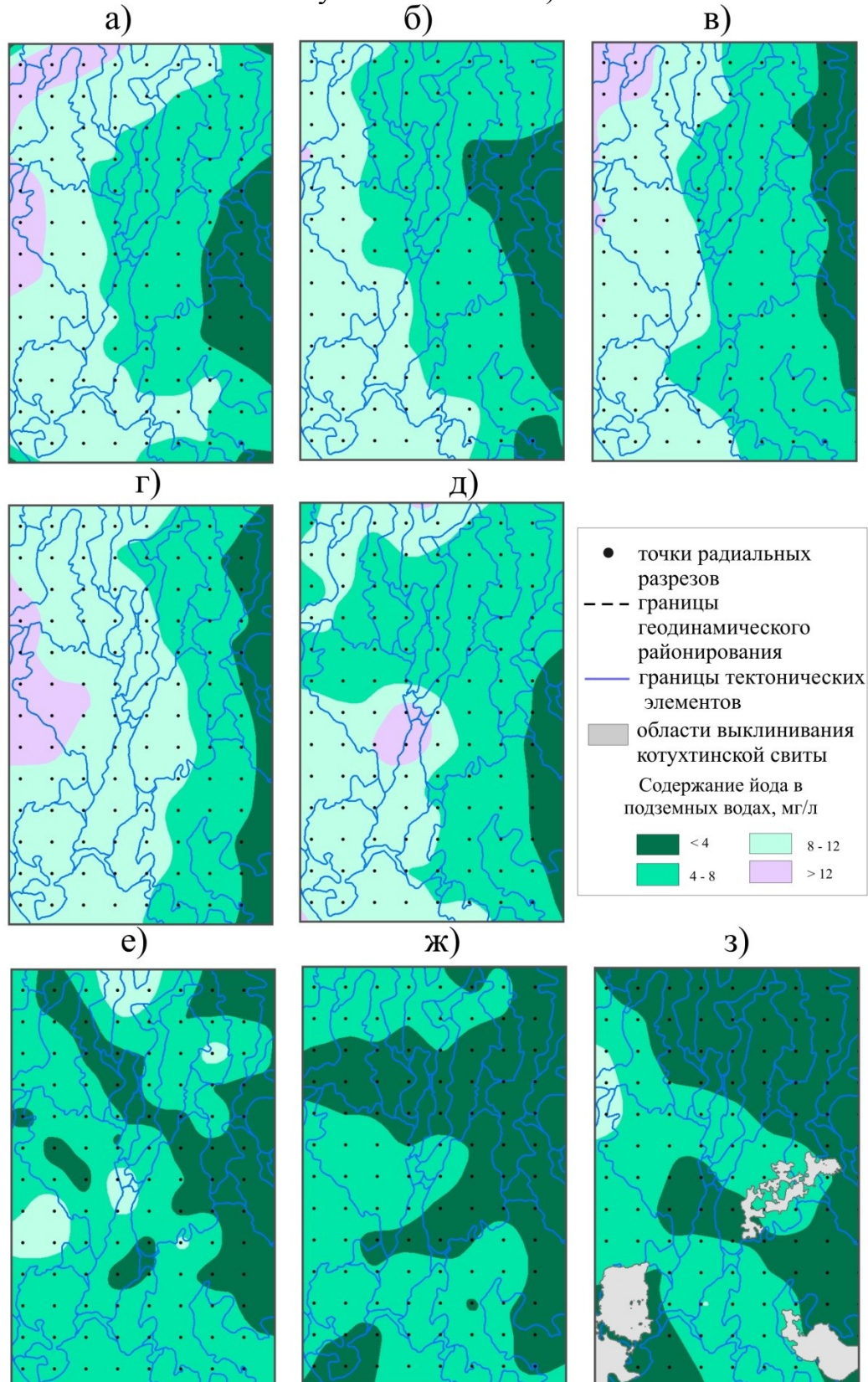




Рисунок 21 – Изменение коэффициента устойчивости  
 (а, б, в – верхней, средней, нижней части покурской свиты; г – вартовской свиты; д – мегионской свиты; е – васюганской свиты; ж – тюменской свиты; з – котухтинской свиты)

