

**Гидрогеологическая неповторимость подземных вод Черкашинского участка Тобольского района Тюменской области**

**А. С. Александров\*, В. А. Бешенцев**

*Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия*

*\*asaleksandrov1991@gmail.com*

**Аннотация.** Интенсивное освоение Тюменской области, где располагается крупнейший Западно-Сибирский мегабассейн (Тюменское месторождение подземных вод — самое крупное в России), нарушает естественное состояние экосистем, в частности подземных вод, являющихся основой экосистемы, жизненно важной для здоровья планеты. На сегодняшний день значимость подземных вод недооценена. Профессор Роберт Рейнеке из Майнцского университета имени Иоганна Гутенберга говорит о том, что подземные воды необходимо рассматривать как важнейшую экосистему, так как они не только сами по себе являются крупной экосистемой, но и имеют решающее значение для экосистем на земной поверхности.

Исключительно важны минеральные и термальные подземные воды, которые в течение длительного времени называли лечебные. Еще в начале XX века термин «минеральная вода» был синонимом термина «лечебная вода». В настоящее время подземные воды используют как в качестве минерального сырья для извлечения ценных компонентов — брома и йода, так и как технические воды. К техническим водам предъявляются особые требования. Это связано с оценкой геохимической совместимости пластовых и закачиваемых флюидов, ввиду того, что прогноз равновесия поможет предотвратить проблемы солеотложений на нефтепромыслах. Затруднительная процедура определения совместимости закачиваемой и пластовой воды усложняет оперативное использование гидрохимической информации, в частности — контроля осадка кальцита.

Цель статьи — представить состав подземных вод и оценить геохимическую совместимость пластовых и закачиваемых флюидов Черкашинского участка. Для изучения данной темы применялся в основном метод атомно-абсорбционного анализа и геохимической совместимости пластовых и закачиваемых флюидов. В работе рассмотрены значение концентрации и возможность накопления в подземных водах микрокомпонентов (брома и йода), которые определяются геолого-гидрогеологическими условиями данного района, а также выделен расчетный метод совместимости смешиваемых вод по кальциту и гипсу, показана зависимость растворимости солей кальция в многокомпонентной смеси от температуры, давления и парциального давления углекислого газа.

**Ключевые слова:** региональные особенности, микрокомпоненты: йод, бром; геохимическая совместимость пластовых и закачиваемых флюидов; вода для заводнения нефтяных пластов

**Для цитирования:** Александров, А. С. Гидрогеологическая неповторимость подземных вод Черкашинского участка Тобольского района Тюменской области / А. С. Александров, В. А. Бешенцев. – DOI 10.31660/0445-0108-2024-6-11-24 // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2024. – № 6. – С. 11–24.

**Hydrogeological uniqueness of groundwater in the Cherkashinsky area of the Tobolsk district of the Tyumen region**

**Andrey S. Aleksandrov\*, Vladimir A. Beshentsev**

**Abstract.** Intensive development of the Tyumen region, where the largest West Siberian megabasin is located (the Tyumen groundwater deposit is the largest in Russia), violates the natural state of ecosystems, in particular groundwater, which is the basis of an ecosystem vital to the health of the planet. Currently, the significance of groundwater is often underestimated. Professor Robert Reinecke from Johannes Gutenberg University Mainz emphasizes that groundwater should be considered as a crucial ecosystem. This is because groundwater is a major ecosystem itself, also it plays a critical role in the earth surface. So what is the hydrogeological uniqueness of the groundwater of the Cherkashinsky area in the Tobolsk district of the Tyumen region?

Mineral and thermal groundwater, historically termed "medicinal water," are essential. In the early 20th century, "mineral water" was synonymous with "medicinal water." Today, groundwater is utilized not only as a mineral resource for extracting valuable components like bromine and iodine but also as technical water. Technical water have special requirements. This is due to the need to assess the geochemical compatibility of formation fluids and injected fluids, because forecasting equilibrium can help prevent problems of salt deposition in oil fields. The difficult procedure for determining the compatibility of injected water and formation water complicates the operational use of hydrochemical data, in especially in monitoring calcite precipitate.

The aim of this article is to present the groundwater composition and evaluate the geochemical compatibility of formation fluids and injected fluids in the Cherkashinsky area. Studying this science topic, we mostly used method of atomic-absorption analysis and the geochemical compatibility of formation fluids and injected fluids. This study examines the value of concentration and potential accumulation of micro-components (bromine and iodine) in groundwater, defined by the geological and hydrogeological conditions of this area. Additionally, we have identified a computational method of compatibility of mixed waters based on calcite and gypsum. Also, we showed the dependency of calcium salt solubility in a multi-component mixture on temperature, pressure, and the partial pressure of carbon dioxide.

**Keywords:** regional features, micro-components — iodine, bromine; geochemical compatibility of formation fluids and injected fluids; water-flooding of oil reservoir

**For citation:** Alexandrov, A. S., & Beshentsev, V. A. (2024). Hydrogeological uniqueness of the groundwater of the Cherkashinsky section of the Tobolsk district of the Tyumen region. *Oil and Gas Studies*, (6), pp. 11-24. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2024-6-11-24

## **Введение**

Черкашинский участок недр расположен в Тобольском районе Тюменской области в нижнем течении реки Иртыш, на правом берегу в 33 км к северо-востоку от города Тобольска.

В гидрологическом отношении данная территория приурочена к Западно-Сибирскому артезианскому бассейну, в разрезе которого выделяют два гидрологических этажа: верхний и нижний.

Верхний гидрологический этаж представлен двумя водоносными комплексами: I — олигоцен-четвертичным, II — турон-олигоценным. Последний включает региональный водоупорный горизонт, надежно изолирующий верхний гидрогеологический этаж от нижнего. Верхний этаж характеризуется свободным и слабо-затрудненным вертикальным водообменом.

Нижний этаж включает четыре гидрогеологических комплекса: аптальб-сеноманский, готерив-барремский, валанжинский и юрский [1]. Подземные воды в нижнем гидрогеологическом этаже формируются в услови-

ях затрудненного водообмена, здесь развиты воды с высокой минерализацией и с повышенным содержанием микроэлементов — йода и брома.

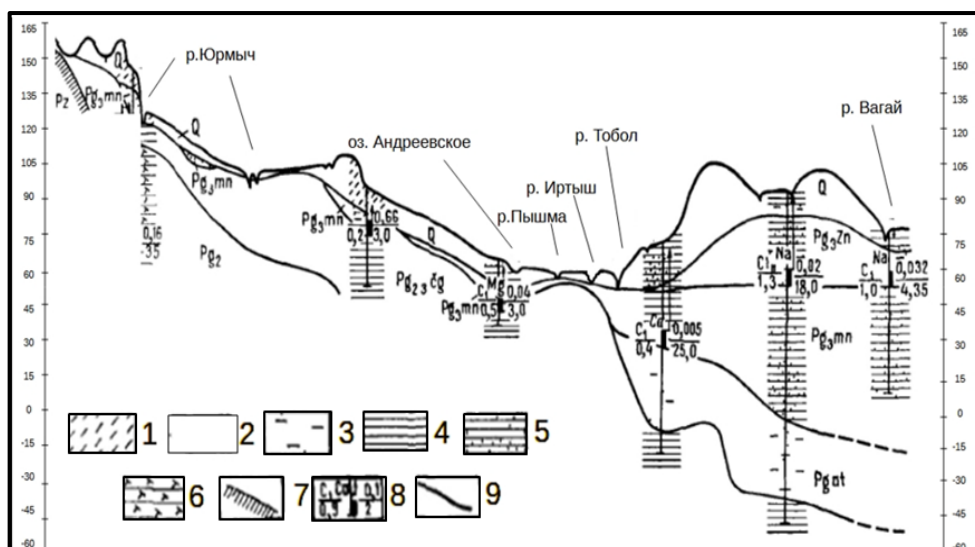
Для промышленного освоения наиболее перспективен Черкашинский участок. На данном участке были проведены буровые работы на 19 разведочных гидрогеологических скважинах и комплекс геологических, геофизических и гидрогеологических наблюдений и исследований [2].

Цель исследований — анализ содержания микроэлементов — йода и брома, тяжелых металлов, а также геохимическая совместимость пластовых и закачиваемых флюидов.

#### Методика исследований

В процессе исследований были выполнены полевые работы по отбору проб воды. Пробы воды для химического анализа отбирали на станциях, местоположение которых регистрировали посредством GPS/ГЛОНАСС — спутниковой системы навигации, используя проекты компании Google — Google Earth и OpenStreetMap.

Размещение точек опробования проводилось в пределах Тобольского района на Черкашинском участке, где расположены геологоразведочные скважины (рис. 1).



1 — суглинки; 2 — пески; 3 — пески глинистые; 4 — глины; 5 — глины песчаные, алевролиты; 6 — опоки; 7 — фундамент; 8 — скважина, интервал опробования, стрелка — напор подземных вод, слева в числителе — тип воды (по Алекину), в знаменателе — минерализация воды г/л, справа в числителе — удельный дебит л/с м, в знаменателе — понижение, м; 9 — стратиграфические границы

Рис. 1. Схематический гидрогеологический разрез северной части Тобольского бассейна (составили В. С. Завьялов и Ю. К. Смоленцев)

Определен химический состав подземных вод в аккредитованных лабораториях физико-химических методов исследований Федерального

государственного бюджетного учреждения науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН).

Статистический анализ геохимических данных сделан с использованием средств MS Excel.

Исследования качества воды для химического анализа производили стандартными методами в соответствии с нормативными документами на методику испытаний.

Для количественного определения тяжелых металлов (ТМ) использовали метод атомно-абсорбционного анализа, основанный на свойстве атомов металлов поглощать в основном состоянии свет определенных длин волн, который они испускают в возбужденном состоянии. Исследования проводились в шести створах (табл. 1).

Таблица 1

**Станции отбора проб**

Объект	Описание	Координаты
Створ 1	Скважина	58°27'28.57"С; 68°27'54.86"В
Створ 2	Ручей 200 м ниже скважины, перед впадением в реку Аремзянку	58°27'33.63"С; 68°28'1.82" В
Створ 3	Река Аремзянка, 80 м выше впадения ручья	58°27'31.05"С; 68°28'2.83"В
Створ 4	Река Аремзянка, 120 м ниже впадения ручья	58°27'37.13"С; 68°28'5.37"В
Створ 5	Ручей 200 м ниже скважины, перед впадением в реку Иртыш	58°28'49.87"С; 68°31'27.12"В
Створ 6	Место впадения реки Аремзянки 0 м	58°29'0.52"С; 68°31'44.95"В

Геохимическую совместимость пластовых и закачиваемых флюидов определяли программным комплексом «Роса», по методике Дебая — Гюккеля и Стиффа — Дэвиса.

**Результаты исследований и их обсуждение**

На Черкашинском участке разведочные работы по поиску содержания йода в подземных водах впервые были начаты в 1962 году. В результате было пробурено 19 разведочных скважин. Гидрологические скважины размещены по территории неравномерно. Основная часть их сконцентрирована на севере, а три — на юге. Объектом детальной разведки оказался наиболее водообильный, содержащий промышленные запасы йода готерив-барремский водоносный комплекс.

Подземные воды готерив-барремского возраста являются термальными, температура доходит до 75 °С — в пластовых условиях, и до 65 °С — на устье.

По химическому составу воды хлоридно-натриевые с минерализацией от 14,2 до 20 г/дм<sup>3</sup>. По данным опробирования 14 скважин можно наблюдать высокое содержание йода и брома. Содержание йода — от 25,8 до 26,7 мг/дм<sup>3</sup>, а брома — от 59 до 66 мг/дм<sup>3</sup>.

Йод — анионогенный элемент с ярко выраженными биофильными свойствами. Соединения йода с главными катионами химического состава подземных вод, как и соединения брома, хорошо растворимы, поэтому йод может концентрироваться в подземных водах в очень высоких содержаниях. Наиболее высокими концентрациями йода Черкашинского участка отличаются воды меловых отложений. В самом верхнем апт-альб-сеноманском водоносном комплексе содержание йода изменяется от 9,9 до 21,0 мг/л при среднем 8,6 мг/л (рис. 2).

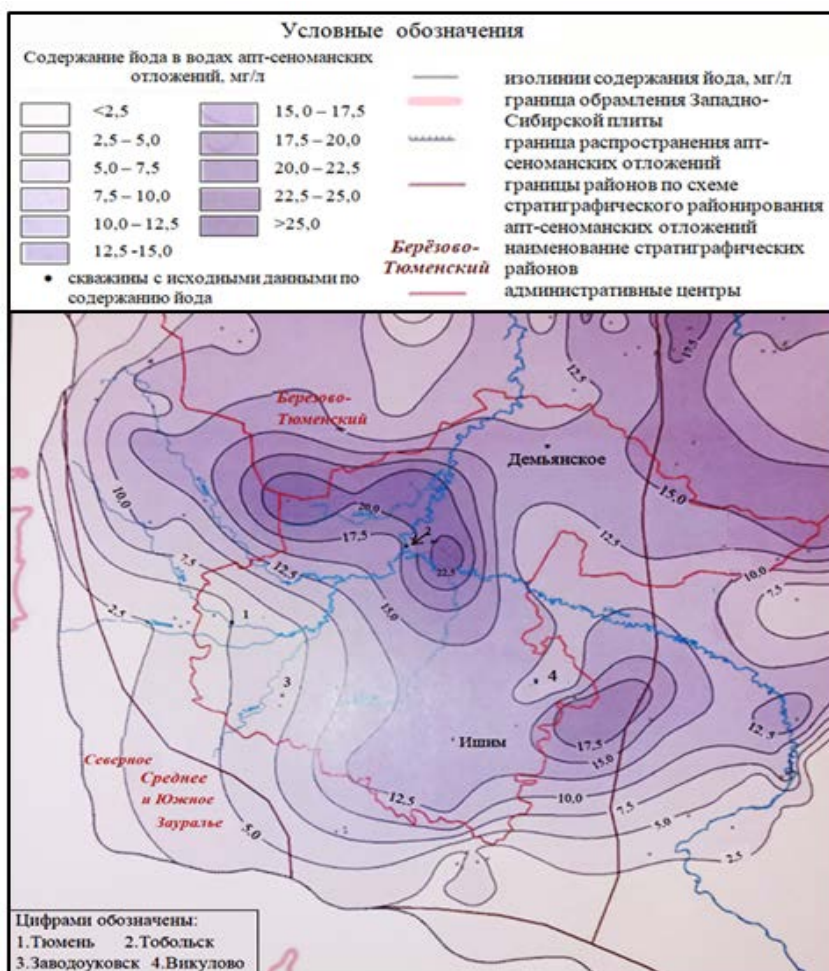


Рис. 2. Содержание йода в подземных водах апт-альб-сеноманского гидрологического комплекса части ЗСМБ (составили Б. П. Ставицкий, А. Г. Плавник, О. Л. Павленко, 2002)

Аномально высокое содержание йода пространственно не совпадает с геохимическими аномалиями. Следовательно, принципиальную схему формирования йодных подземных вод можно представить в следующем виде:

а) сингенетическая стадия, на которой происходят концентрирование йода из морской воды растительными и животными организмами и сорбция его глинистыми частицами ила;

б) эпигенетическая стадия, на которой йод переходит из пород в подземные воды; активизации этого процесса способствует наличие в водах органических веществ, повышенная температура и др. [3].

Отметим, что содержание брома возрастает с ростом минерализации (рис. 3) и достигает максимальных значений в наиболее глубоко погруженных водоносных горизонтах [4].

Растворимость брома, являющегося неполярным гидрофобным соединением, невелика. При  $t = 54,3$  °С суммарное давление паров брома и воды равно атмосферному [5].

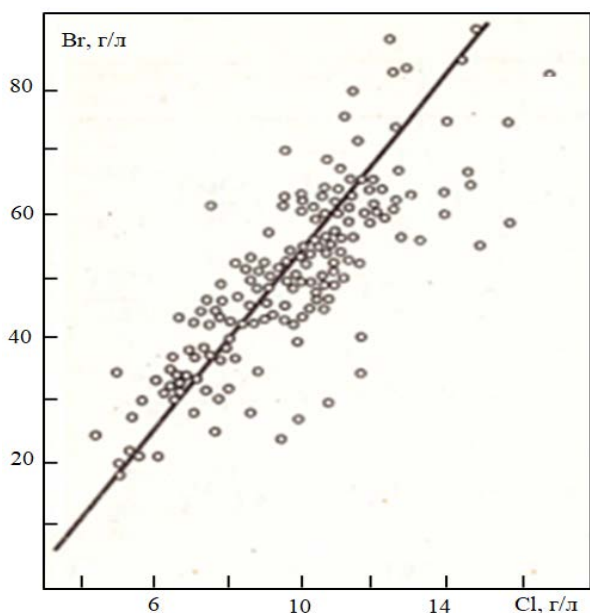


Рис. 3. Зависимость содержания Br от Cl в подземных водах

Таким образом, подземные воды Тюменского месторождения отличаются высоким содержанием йода и брома. Особая роль отводится йоду, так как в пределах Тюменского месторождения эксплуатационные запасы йодных вод утверждены по нескольким участкам, однако одним из самых перспективных является Черкашинский участок.

Тяжелые металлы в каждой экосистеме индивидуальны и зависят от характера водосбора, гидрологического и гидрохимического режимов. Из

всех классов неорганических соединений наибольшее внимание привлекают тяжелые металлы [6]. В их число, согласно решению Целевой группы по выбросам Европейской экономической комиссии ООН, включены Pb, Cd, Hg, Ni, Co, Cr, Cu, Zn, Sb. Многие тяжелые металлы (Hg, Cd, Pb) способны проявлять высокую токсичность даже в следовых количествах [7].

Уже отмечалось, что для количественного определения тяжелых металлов в донных отложениях использовали метод атомно-абсорбционного анализа. Абсорбционность связана с концентрацией более простой зависимостью, чем пропускание или поглощение [8]. На основании данных эксперимента были построены графики зависимости абсорбции от массовой концентрации металла, например, график градуировочной зависимости для меди ( $Cu^{324}$ ) (рис. 4).

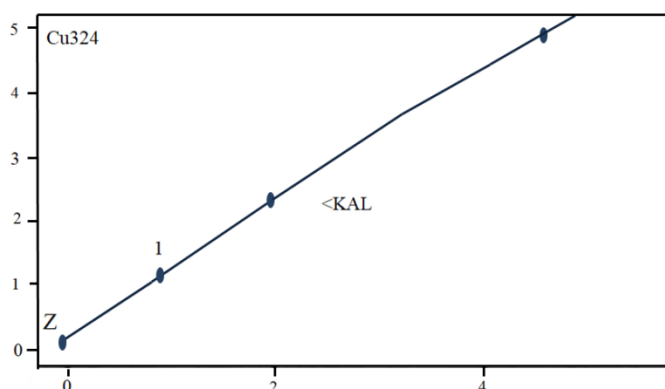


Рис. 4. График градуировочной зависимости для меди ( $Cu^{324}$ )

Результаты обработки градуировочной зависимости для меди ( $Cu^{324}$ ) проводили по формуле  $y = a + bx + cx^2$ , где  $a = 0,0009883$ ;  $b = 0,1291547$ ;  $c = -0,004511$ . Коэффициент корреляции —  $R = 0,999988210$ .

На рисунке показана градуировочная зависимость, представляющая модель, которая описывает связь между измеряемым параметром и концентрацией химического соединения в пробе, зависимость в нашем случае — линейная.

В природной воде ТМ встречаются преимущественно в растворимой форме, в виде ионов, и определяются чаще всего методами инверсионной вольтамперометрии и атомно-абсорбционной спектрометрии. Результаты измерения содержания металлов в образцах воды, отобранных в станциях в районе скважины Черкашинской № 36-РГ, зависят от места ее отбора и изменяются значительно. Высокое содержание наблюдается в районе скважины и близлежащих территорий. Концентрация ТМ в пробах воды, в частности Cu, составляет —  $0,014 \text{ мг/дм}^3$ , Zn —  $0,017 \text{ мг/дм}^3$ , Pb —  $< 0,01 \text{ мг/дм}^3$ . Необходимо подчеркнуть тот факт, что по мере удале-

ния от скважины концентрация данных металлов уменьшается. Несколько иная картина наблюдается у Mn и Fe (рис. 5), для которых характерен скачкообразный переход.

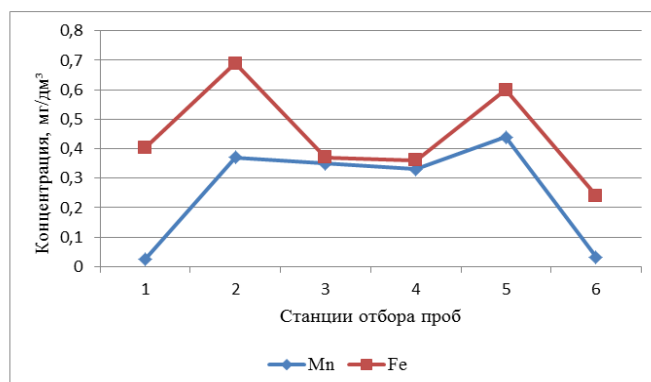


Рис. 5. Распределение Mn и Fe на исследуемых станциях

Наиболее подвижным из элементов — по соотношению подвижной и валовой формы — является марганец, наименее подвижным — свинец, что подтверждают результаты измерения концентраций элементов в воде. Содержание меди, цинка, свинца и кадмия в пределах естественной вариабельности близко на разных станциях, что указывает на сходство токсического эффекта от действия этих элементов на протяжении маршрута исследования.

Повышенное содержание ТМ наблюдается в грунтах вблизи скважины, так как железо, медь, цинк, свинец и марганец имеют сильную корреляционную связь с их концентрациями в воде скважины. По результатам химических исследований было выяснено, что в грунтах находится повышенное относительно фоновых значений содержание ртути, никеля, свинца, марганца, это наиболее заметно в 50 м от скважины. Примерная площадь засоления была произведена при помощи GPS/ГЛОНАСС и рассчитана с использованием сервисов Google Earth и OpenStreetMap. Она составляет 0,7–1,0 га вокруг устья скважины.

Уникальность Тюменского месторождения заключается в том, что подземные воды неокомских отложений содержат кальций. В районе Черкашинского участка содержится до 10 %-экв. В более северных районах Тюменской области, например, в Нижневартовском районе, кальций достигает 31 %-экв. [9].

Необходимость анализа геохимической совместимости пластовых и закачиваемых флюидов является одной из основных задач промышленной гидрогеологии [10, 11], так как прогноз равновесия смешиваемых вод поможет предотвратить проблемы солеотложений на скважинном оборудовании [12].

Совместимость вод определяем комплексом программ «РОСА» (ОСТ 39-229-89 «Вода для заводнения нефтяных пластов. Определение совме-



стимости закачиваемых и пластовых вод по кальциту и гипсу расчетным методом» (утв. приказом Министерства нефтяной промышленности от 6 февраля 1989 г. № 100)) [13].

Совместимость вод проследим на геотермальных водах Тюменского месторождения, исследуя химическую совместимость при смешении закачиваемых сточных вод апт-альб-сеноманского (ААС) и пластовых вод неокомского гидрологических бассейнов (табл. 2).

Таблица 2

**Химический состав подземных вод ААС**

Макрокомпоненты: мг/дм <sup>3</sup> ; мг-экв./дм <sup>3</sup> ; % мг/экв.								Формула солевого состава
Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na+	CH <sub>4</sub>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
540,64	141,6	4514,52	0	8 330,75	< 12,5	< 2	189,1	M13,73 $\frac{Cl\ 99\ HCO_3\ 1}{Na\ 84\ Ca\ 11\ Mg\ 5}$ pH 8,0

По химическому составу пластовые воды продуктивных пластов хлоридные натриевые (по Алекину), по величине минерализации соленые с минерализацией от 16,65 г/дм<sup>3</sup>, тип вод хлоркальциевый (по Сулину), по величине общей жесткости — 20,6 мг-экв/дм<sup>3</sup>. Воды высоконапорные, термальные, пластовая температура составляет ~50<sup>0</sup>С (табл. 3).

Таблица 3

**Химический состав пластовых вод Черкашинского участка**

Макрокомпоненты: мг/дм <sup>3</sup> ; мг-экв./дм <sup>3</sup> ; % мг/экв.						Формула солевого состава
Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na+	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
531,24	102,1	6264,92	10812,25	< 12,5	228,8	M17,95 $\frac{Cl\ 99\ HCO_3\ 1}{Na\ 89\ Ca\ 9\ Mg\ 3}$ pH 7,4

Расчет карбонатных равновесий исследуемых вод был проведен в образцах, взятых в соотношениях от 0:10 до 10:0 (смешение происходило из пар проб воды; вначале воды ААС и неокомского ВК брались без нагрева, а далее смешение происходило при t = 85<sup>0</sup>С). В процессе смешения вод, поступающих из различных прослоев с разной минерализацией и степенью насыщенности Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, нарушается физико-химическое равновесие смеси и создаются условия для выпадения карбонатных солей [14]. На образование определенной формы карбоната кальция влияют температура, давление, общая минерализация и pH раствора, содержание углекислого газа. Отметим, что увеличение температуры от 40 до 90<sup>0</sup>С при сохранении прочих условий не приводит к изменению фазового состава карбоната кальция, но в целом снижает скорость образования осадка, вероятно, из-за

отрицательной растворимости  $\text{CO}_2$  в растворе. Однако особенность осаждения карбонатов заключается в повышенной чувствительности к изменению давления [15]. При смешении природных вод, равновесных с  $\text{CaCO}_3$ , но имеющих различное парциальное давление  $\text{CO}_2$  над раствором, следует ожидать получения неравновесной по карбонату кальция смеси. В этом случае процесс смешения может сопровождаться растворением либо осаждением карбоната кальция. Термодинамические расчеты насыщенности смешения вод ААС и неокомского ВК относительно карбоната кальция проведены при  $t = 85^\circ\text{C}$  по методике Дебая — Гюккеля. Количественная оценка степени насыщенности вод карбонатом кальция проводилась путем вычисления индекса неравновесности с  $\text{CaCO}_3$  по реакции:



Индекс неравновесности изменяется от  $-1,495$  до  $-2,108$ . По мере насыщения воды карбонатом кальция индекс неравновесности уменьшается, стремясь к нулю, а при пресыщении вод его значения становятся отрицательными, нулевое значение характеризует равновесное состояние.

Индекс по методике Дебая — Гюккеля, Стиффа — Дэвиса используется для оценки возможности образования отложений  $\text{CaCO}_3$  для вод с высоким содержанием, где для расчета величины равновесного насыщения воды карбонатом кальция введена константа, зависящая от ионной силы раствора и температуры. В данном случае индекс насыщения (JS) положителен, индекс стабильности (JSt) находится в пределах от 7,30 до 6,48, что соответствует среднеагрессивной и стабильной воде, поэтому осадок  $\text{CaCO}_3$  не образуется.

Необходимо отметить, что был произведен прогнозный расчет выпадения количества солей [16]. При  $t = 85^\circ\text{C}$  в осадок выпадает 0,584 мг кальцита из литра раствора, доломит уходит в минус, гипс не отмечен (рис. 6).

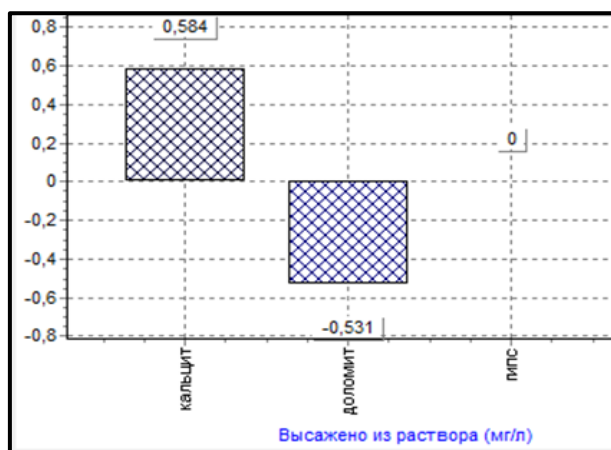


Рис. 6. Прогноз количества отложений неорганических солей при  $t = 85^\circ\text{C}$

Смешиваемые воды считаются совместимыми по кальциту, если масса образующегося при этом осадка не превышает значения, установленного с учетом коллекторских свойств пласта по ОСТ 39-225-88.

Термодинамическое моделирование выполнено с учетом пластовых условий сеноманского горизонта: 200 атм,  $t = 85^{\circ}\text{C}$  при давлении закачиваемой воды. Результаты термодинамического моделирования процесса смешения пластовых и закачиваемых вод показаны в таблице 4.

Таблица 4

**Результаты термодинамического моделирования процесса смешения пластовых и закачиваемых вод**

Доля воды в смеси, %		Содержание осадкообразующих компонентов, г/дм <sup>3</sup>			Степень насыщения	Осадок, г/дм <sup>3</sup>	Минерализация, г/дм <sup>3</sup>	Давление насыщения CO <sub>2</sub> , атм.
Пластовая (скв. Черкашинская 26-рг)	Закачиваемая (скв. Исетская 20-Б)	Са	Mg	Карб. щелоч.				
100	0	0,542	0,113	0,185	0,999	0,000	19,40	1,050
80	20	0,552	0,120	0,180	1,001	0,000	18,36	1,038
60	40	0,561	0,127	0,174	1,001	0,000	17,32	1,025
50	50	0,566	0,130	0,172	1,001	0,000	16,80	1,019
30	70	0,576	0,137	0,166	1,001	0,000	15,76	1,007
10	90	0,585	0,144	0,161	1,001	0,000	14,72	0,995
0	100	0,590	0,147	0,158	1,000	0,000	14,20	0,989

Изменение количества осадка кальцита при пластовом PCO<sub>2</sub> отсутствует. Из таблицы видно, что даже по мере увеличения агента нагнетания и при увеличении закачиваемой воды до 90 % осадок не образуется.

Подземные воды ААС ВК — оптимальный источник закачиваемых вод на многих месторождениях Западной Сибири [17]. Следовательно, минерализованные воды апт-альб-сеноманского комплекса и неокомского гидрологического комплекса совместимы, так как характеризуются хорошими фильтрационными свойствами, водообильностью. Отметим, что на формирование осадка в пласте влияют и другие факторы, такие, как скорость продвижения фронта сточных вод в пласте, давление насыщения углекислотой. Результаты расчетов химической совместимости пластовых и закачиваемых сточных вод свидетельствуют о полной совместимости вод, так как осадок карбоната кальция при их смешении стремится к нулю.

### **Список источников**

1. Матусевич, В. М. Тобольский нефтеносный район — перспективная база гидроминеральных и топливно-энергетических ресурсов Тюменской области / В. М. Матусевич, Т. В. Семенова // Материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока Сибири. – Иркутск, 2000. – С. 124–126. – Текст : непосредственный.
2. Михайлова, Л. В. Загрязнение и фитотоксичность донных грунтов водотоков в районе самоизливающейся скважины № 36-РГ в Тобольском районе Тюменской области / Л. В. Михайлова, А. С. Александров, А. С. Рычкова. – Текст: непосредственный // Вестник рыбохозяйственной науки. – 2018. – Т. 5., № 2 (18). – С. 80–92.
3. Крайнов, С. Р. Геохимия подземных вод = Geochemistry of ground waters = Geochemistry of ground waters : Теоретические, прикладные и экологические аспекты / С. Р. Крайнов, Б. Н. Рыженко, В. М. Швец ; ответственный редактор Н. П. Лаверов ; Российская академия наук, Институт геохимии и аналитической химии им. Вернадского, Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе. – 2-е изд., доп. – Москва : ЦентрЛитНефтеГаз, 2012. – 672 с. – Текст : непосредственный.
4. Курчиков, А. Р. Гидрогеотермические критерии нефтегазоносности / А. Р. Курчиков. – Москва : Недра, 1992. – 231 с. – Текст : непосредственный.
5. Карцев, А. А. Гидрогеология нефтегазоносных бассейнов : учебник для вузов / А. А. Карцев, С. Б. Вагин, В. М. Матусевич. – Москва : Недра, 1986. – 224 с. – Текст : непосредственный.
6. Будников, Г. К. Тяжелые металлы в экологическом мониторинге водных систем / Г. К. Будников // Соровский образовательный журнал. – 1998. – № 5. – С. 23–29. – Текст : непосредственный.
7. Никаноров, А. М. Гидрохимия: учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. / А. М. Никаноров. – Санкт-Петербург : Гидрометеиздат, 2001. – 444 с. – Текст : непосредственный.
8. Орешенкова, Е. Г. Спектральный анализ. Учебник / Е. Г. Орешенкова. – Москва : Высшая Школа. – 1982. – 375 с. – Текст : непосредственный.
9. Матусевич, В. М. Нефтегазовая гидрогеология : учебное пособие [в 2 ч.] Ч. 2. Нефтегазовая гидрогеология Западно-Сибирского мегабассейна / В. М. Матусевич, Л. А. Ковяткина ; Федеральное агентство по образованию, Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2010. – 108 с. – Текст : непосредственный.
10. Опыт использования апт-альб-сеноманского гидрогеологического комплекса при размещении попутно-добываемых вод Каменного участка недр / Ю. И. Сальникова, Р. Н. Абдрашитова, Д. В. Бердова, Т. В. Семенова. – DOI 10.31660/0445-0108-2024-2-25-42. – Текст: непосредственный // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2024. – № 2 (164). – С. 25–42.
11. Гусаков, В. Н. Анализ условий формирования отложений галита и поиск реагентов для ингибирования / В. Н. Гусаков, Р. Н. Абдрашитова, В. Н. Колотыгина. – Текст : непосредственный // Вода : химия и экология. – 2024. – № 1. – С. 29–41.
12. Сальникова, Ю. И. Результаты исследований совместимости пластовых и закачиваемых вод на месторождениях углеводородов в Западной Сибири / Ю. И. Сальникова. – DOI : 10.17513/use.38217. – Текст : непосредственный // Успехи современного естествознания. – 2024. – № 2. – С. 44–53. – Текст: непосредственный.

13. ОСТ 39-229-89. Вода для заводнения нефтяных пластов. Определение совместимости закачиваемых и пластовых вод по кальциту и гипсу расчетным методом от 6 февраля 1989 г. № 100. – Дата введ. 1989-01-07. – Москва, 1989. – 14 с. – Текст: непосредственный.
14. Отложения неорганических солей в скважинах, призабойной зоне пласта и методы их предотвращения / С. Ф. Люшин, А. А. Глазков, Г. В. Галеева, [и др.]. – Москва : ВНИИОЭНГ, 1983. – 100 с. – Текст : непосредственный.
15. Образование арагонита и кальцита в системе  $\text{Ca}(\text{OH})_2\text{-H}_2\text{O-CO}_2$  – воздух при различной минерализации раствора / Ж. Д. Сыдыков, Д. А. Самбаева, Л. И. Толоконникова, З. К. Маймеков // Наука и новые технологии. – 2008. – № 3–4. – С. 220–224. – Текст : непосредственный.
16. Букаты, М. Б. Численные методы моделирования геомиграции радионуклидов: учебное пособие / М. Б. Букаты. – Томск : Издательство Томского политехнического университета. – 2010. – 96 с. – Текст : непосредственный.
17. Подземные воды мезозойского гидрогеологического бассейна в пределах северной части Западно-Сибирского мегабассейна : монография / В. А. Бешенцев, Т. В. Семенова, Р. Н. Абдрашитова, М. Д. Заватский; Министерство образования и науки Российской Федерации, Тюменский индустриальный университет. – Тюмень : ТИУ, 2021. – 171 с. – Текст : непосредственный.

### References

1. Matusevich, V. M., Semenova, T. V. (2000). Tobol'skiy neftenosnyy rayon — perspektivnaya baza gidromineral'nykh i toplivno-energeticheskikh resursov Tyumenskoj oblasti. Materialy Vserossiyskogo soveshchaniya po podzemnym vodam Vostoka Sibiri. Irkutsk, pp. 124-126. (In Russian).
2. Mikhailova, L. V., Alexandrov, A. S., & Rychkova, A. S. (2018). Pollution and phytotoxicity of bottom soils of watercourses within the area of a flowing oil well no.36-RG IN Tobolsk district of Tyumen region. Vestnik rybokhozyaystvennoy nauki, 5(2), pp. 80-92. (In Russian).
3. Krainov, S. R., Ryzhenko, B. N., & Shvets, V. M. (2012). Geochemistry of ground waters = Geochemistry of ground waters. Moscow, TsentrLitNefteGaz Publ., 672 p. (In Russian).
4. Kurchikov, A. R. (1992). Hidrogeotermicheskie kriterii neftegazonosnosti. Moscow, Nedra Publ., 231 p. (In Russian).
5. Kartsev, A. A., Vagin, S. B., & Matusevich, V. M. (1986). Hidrogeologiya neftegazonosnykh basseynov. Moscow, Nedra Publ., 224 p. (In Russian).
6. Budnikov, G. K. (1998). Tyazhelye metally v ekologicheskom monitoringe vodnykh sistem. Sorovskiy obrazovatel'nyy zhurnal, (5), pp. 23-29. (In Russian).
7. Nikanorov, A. M. (2001). Gidrokhimiya. Sankt-Peterburg. Gidrometeorizdat Publ., 444 p. (In Russian).
8. Oreshenkova, E. G. (1982) Spektral'nyy analiz. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 375 p. (In Russian).
9. Matusevich, V. M., & Kovyatkina, L. A. (2010). Neftegazovaya gidrogeologiya. V 2 chastyakh. Chast' II. Neftegazovaya gidrogeologiya Zapadno-Sibirskogo megabasseyna. Tyumen, Tyumen State Oil and Gas University Publ., 108 p. (In Russian).
10. Salnikova, Yu. I., Abdrashitova, R. N., Berdova, D. V., & Semenova, T. V. (2024). Experience of using the aptian-albian-cenomanian hydrogeological complex in the disposal of produced water from the Kamennoye subsoil area. Oil and gas studies, 2(164), pp. 25-42. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2024-2-25-42

11. Gusakov, V. N., Abdrashitova, R. N., & Kolotygina, V. N. (2024). Analysis of the formation conditions of halite deposits and the search of reagents for inhibition. *Water: Chemistry and Ecology*, (1), pp. 29-41. (In Russian).
12. Salnikova, Yu. I. (2024). Results of studies on the compatibility of formation and injected water in hydrocarbon fields in Western Siberia. *Advances in current natural sciences*, (2), pp. 44-53. (In Russian). DOI: 10.17513/use.38217.
13. OST-39-229-89. (1989). Voda dlya zavodneniya neftyanykh plastov. Opredelenie sovместимости zakachivaemykh i plastovykh vod po kal'tsиту i gipsu raschetnym metodom ot 6 fevralya 1989 g. № 100. Moscow, 14 p. (In Russian).
14. Lyushin, S. F., Glazkov, A. A., Galeeva, G. V., Antipin, Yu. V., & Syrtlanov, A. Sh. (1983). Otlozheniya neorganicheskikh soley v skvazhinakh prizaboynoy zony plasta i metody ikh predotvrashcheniya. Moscow, VNIIOENG Publ., 100 p. (In Russian).
15. Sydykov, Zh. D., Sambayeva, D. A., Tolokonnikova, L. I., Maymekov, Z. K. (2008). Obrazovanie aragonita i kal'tsита v sisteme  $\text{Ca}(\text{OH})_2\text{-N}_2\text{O-SO}_2$  – vozdukh pri razlichnoy mineralizatsii rastvora. *Nauka i novye tekhnologii*, (3-4), pp. 220-224. (In Russian).
16. Bukaty, M. B. (2010). Chislennyye metody modelirovaniya geomigratsii radionuklidov: uchebnoe posobie. Tomsk, Izdatel'stvo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta Publ., 96 p. (In Russian).
17. Beshentsev, V. A., Semenova, T. V., Abdrashitova, R. N. & Zavatskiy, M. D. (2021). Podzemnyye vody mezozoyskogo gidrogeologicheskogo basseyna v predelakh severnoy chasti Zapadno-Sibirskogo megabasseyna. Tyumen, Industrial University of Tyumen Publ., 171 p. (In Russian).

#### **Информация об авторах / Information about the authors**

**Александров Андрей Сергеевич**, старший преподаватель кафедры геологии месторождений нефти и газа, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, [asaleksandrov1991@gmail.com](mailto:asaleksandrov1991@gmail.com)

**Andrey S. Aleksandrov**, Senior Lecturer at the Department of Geology of Oil and Gas Fields, Industrial University of Tyumen, [asaleksandrov1991@gmail.com](mailto:asaleksandrov1991@gmail.com)

**Бешенцев Владимир Анатольевич**, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии месторождений нефти и газа, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

**Vladimir A. Beshentsev**, Doctor of Geology and Mineralogy, Professor at the Department of Geology of Oil and Gas Fields, Industrial University of Tyumen

Статья поступила в редакцию 12.07.2024; одобрена после рецензирования 14.08.2024; принята к публикации 13.09.2024.

The article was submitted 12.07.2024; approved after reviewing 14.08.2024; accepted for publication 13.09.2024.