

Факторы формирования химического состава подземных вод олигоценового водоносного горизонта в западной части Среднеобского гидрогеологического бассейна

Юлия Олеговна РУСАКОВА*

Западно-Сибирский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Тюмень, Россия

Аннотация

Цель и актуальность работы. Постоянно растущая потребность в пресных подземных водах в регионе интенсивной нефтедобычи и потенциального техногенного влияния на подземные воды обуславливает необходимость прогноза качественных и количественных показателей их химического состава. Целью исследования являются определение и анализ действия условий и факторов на формирование пространственных и временных закономерностей изменения химического состава подземных вод олигоценового горизонта в западной части Среднеобского гидрогеологического бассейна.

Методы исследования включали анализ физико-географических, геологических, гидродинамических и техногенных факторов и оценку их влияния на изменение показателей химического состава подземных вод олигоценового горизонта.

Результаты работы и область их применения. В результате исследования определено, что минерализация и степень обогащения органическим веществом подземных вод горизонта изменяются по площади закономерно в соответствии с физико-географической зональностью и геолого-структурным планом района. Фактором формирования пестрого основного состава подземных вод и повышенных концентраций в них кремния, общего железа, аммония и марганца, а также закономерностей изменения данных показателей по площади являются особенности и изменение по площади литолого-минерального состава водовмещающих пород. Изменение динамики подземных вод при водоотборе является фактором, влияющим на минерализацию вод за счет изменения характера водообмена. Нарушение естественного гидрогеохимического режима определяет экстремальные значения минерализации и хлоридный тип вод на локальных участках. Результаты исследования могут служить основой для прогноза показателей качества подземных вод олигоценового горизонта в районе исследования.

Выводы. Особенности химического состава подземных вод олигоценового горизонта обусловлены совместным действием физико-географических, геологических, геодинамических и техногенных факторов, основные из которых – приуроченность к краевой части Западно-Сибирской плиты и техногенное изменение естественного гидрохимического режима подземных вод в процессе их эксплуатации.

Ключевые слова: олигоценовый водоносный горизонт, химический состав подземных вод, факторы формирования.

Введение

При изучении состояния подземных вод основного источника питьевого водоснабжения и обеспечения водой объектов инфраструктуры – олигоценового горизонта в Шаимском нефтегазодобывающем районе (НГР) и на прилегающей территории в западной части Среднеобского гидрогеологического бассейна – определено, что они имеют специфические особенности химического состава и определенные закономерности изменения показателей по площади. Постоянно растущая потребность в пресных подземных водах в регионе обуславливает актуальность исследования химического состава подземных вод горизонта для прогноза показателей качества подземных вод на уже эксплуатируемых и перспективных участках.

В связи с этим целью настоящего исследования является определение и анализ действия условий и факторов на формирование пространственных и временных закономерностей изменения химического состава подземных вод олигоценового горизонта в регионе потенциального влияния объектов техногенной нагрузки на подземные воды.

Факторы и условия формирования химического состава подземных вод, а также процессы гидрогеохимического взаимодействия в системе *вода–горная порода* представлены работами Е. В. Посохова, С. Р. Крайнова, В. М. Швеца, В. П. Зверева, С. Л. Шварцева и др. [1–7]. Вопросам гидрогеохимии пресных подземных вод За-

*julrusakova@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1258-4598>

падно-Сибирского мегабассейна (ЗСМБ) и природным факторам их формирования посвящены исследования С. Л. Шварцева, Н. Г. Шубенина, А. В. Трофимова, Н. С. Трофимовой, И. М. Земсковой, Ю. К. Смоленцева и др. [8–11]. Обобщенные сведения по данному вопросу приведены в сводном труде «Гидрогеология СССР. Т. XVI. Западно-Сибирская равнина» [12]. Анализ изменения химического состава пресных подземных вод в условиях интенсивной техногенной нагрузки представлен публикациями работ В. А. Бешенцева, Г. В. Торопова, М. В. Вашуриной и др. [13–16].

На основе опыта, полученного многочисленными исследователями, и применительно к условиям ЗСМБ известно, что факторы формирования химического состава подземных вод подразделяются по виду воздействия на прямые, непосредственно влияющие на состав воды (химическое взаимодействие в системе *вода-порода*, деятельность человека), и косвенные, определяющие условия и скорость взаимодействия веществ с водой (физико-географические, геологические, гидродинамические).

Сведения о физико-географических условиях региона (ландшафтные характеристики) приводятся в открытых источниках¹. Геологические условия региона освещены в материалах Государственной геологической карты РФ масштаба 1 : 1 000 000 третьего поколения (листы Р-41, Р-42, О-41, О-42). Детализация границ распространения куртамышской и атлым-новомихайловской свит олигоцена, сведения об их вещественном составе приведены в материалах геолого-съёмочных работ масштаба 1 : 200 000 партий Тюменской КГРЭ: Сосьвинской (И. И. Смирнов [и др.], 1989), Ханты-Мансийской (И. Л. Зайонц [и др.], 1984) и Тюменской (Ю. П. Черепанов [и др.], 1983). Гидрогеологические и гидродинамические условия ЗСМБ представлены в труде В. М. Мутусевича и Л. А. Ковяткиной «Нефтегазовая гидрогеология Западно-Сибирского мегабассейна» (ч. II), а также фондовых геологических отчетах: «Подземные воды кайнозойских отложений Западно-Сибирского артезианского бассейна в пределах Тюменской, Томской и северных районов Новосибирской и Омской областей» (ЗапСибНИГНИ Главтюменьгеологии (Ю. К. Смоленцев, Н. И. Зенков [и др.], 1968), «Отчет по региональной оценке эксплуатационных запасов подземных вод южной части Западно-Сибирского артезианского бассейна» ТИИ (Ю. К. Смоленцев, 1983), «Оценка обеспеченности населения ХМАО ресурсами подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения (подготовка геологической и геокриологической основы в масштабе 1 : 1 000 000 и материалов для обобщения на федеральном уровне), ГИДЭК, Р. Б. Крапивнер, С. С. Палкин [и др.], 2001. Состояние подземных вод олигоценового горизонта при их эксплуатации контролируется недропользователями в процессе мониторинга на водозаборных участках.

Объект исследования

Объектом настоящего исследования является олигоценовый водоносный горизонт, приуроченный к отложениям стратиграфических аналогов – куртамышской и атлым-новомихайловской свитам на территории западной части Среднеобского гидрогеологического бассейна (рис. 1).

Химический состав подземных вод горизонта охарактеризован 1763 анализами проб воды, полученными в процессе мониторинга различных недропользователей за период 2013–2021 гг.

Лабораторные исследования включали определение в различных комбинациях следующих показателей: водородный показатель (рН), общая жесткость (Ж), сумма основных ионов в качестве характеристики минерализации (М), содержание суммы ионов натрия и калия ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$), кальция (Ca^{2+}), магния (Mg^{2+}), сульфатов (SO_4^{2-}), хлоридов (Cl^-), гидрокарбонатов (HCO_3^-), аммония (NH_4^+), кремния (Si), общего железа (Fe) и марганца (Mn).

Все лабораторные анализы можно разделить на две группы по величине минерализации: первая группа включает анализы с величиной минерализации $< 1000 \text{ мг/дм}^3$, характерной для пресных вод региона и ограниченной санитарными нормами для питьевых вод, вторая группа – с экстремальными значениями минерализации $> 1000 \text{ мг/дм}^3$. Средние и экстремальные значения показателей приведены в табл. 1.

Анализы первой группы характеризуют подземные воды как пресные с величиной минерализации $39\text{--}924 \text{ мг/дм}^3$, по реакции среды – от слабокислых до щелочных (рН 5,5–8,8 ед.), по величине общей жесткости ($0,2\text{--}10,2 \text{ мг-экв/дм}^3$) – от очень мягких до очень жестких. Согласно классификации О. А. Алекина, воды имеют весьма пестрый состав: по анионам присутствуют классы гидрокарбонатных и хлоридных вод, по преобладающим катионам – группы натриевых, кальциевых и магниевых I, II и III типов.

Анализы второй группы характеризуют воды в местах их отбора как солоноватые с величиной минерализации $1085\text{--}3572 \text{ мг/дм}^3$, по реакции среды (5,1–7,2 ед.) от умеренно кислых до нейтральных, по величине общей жесткости ($3,6\text{--}9,8 \text{ мг-экв/дм}^3$) – как умеренно и очень жесткие. По классификации О. А. Алекина, воды гидрокарбонатные и хлоридные, по преобладающим катионам – натриевые I и II типа.

Пространственное изменение показателей химического состава подземных вод имеет определенные закономерности: в направлении с запада на восток увеличивается минерализация вод, с севера-запада на юго-восток повышается содержание суммы ионов натрия и калия, кремния и иона аммония, снижается содержание марганца.

Методы исследования

Методы исследования включают анализ физико-географических, геологических, гидродинамических и техногенных факторов и оценку их влияния на изменение показателей химического состава подземных вод олигоценового горизонта в районе исследования.

Оценка влияния физико-географических факторов выполняется сравнением показателей химического состава подземных вод, относящихся к различным группам по физико-географическим условиям.

Установление зависимости изменения химического состава подземных вод от геолого-структурного плана района определяется на основании корреляции глубин

¹Экологический центр «Экосистема». URL: https://ecosystema.ru/08nature/world/geoussr/2_2_3.html#2_2_3_5

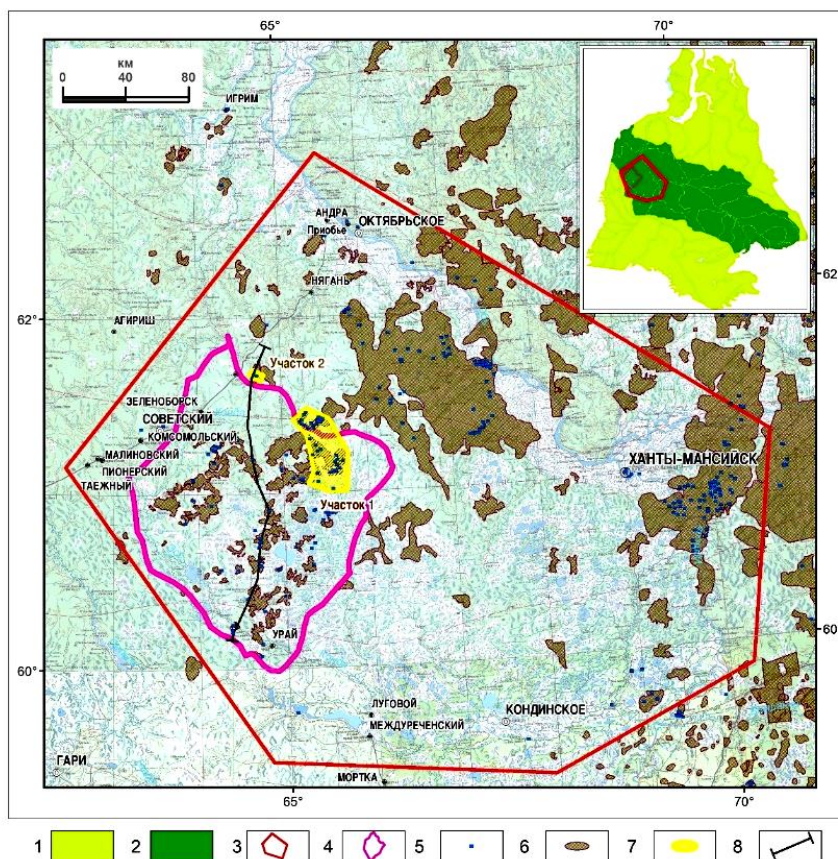


Рисунок 1. Обзорная карта района исследования: 1 – ЗСМБ; 2 – Среднеобский гидрогеологический бассейн; 3 – район исследования; 4 – Шаимский НГР; 5 – водозаборный участок; 6 – месторождение углеводородов; 7 – участок наблюдения за техногенным влиянием; 8 – линия гидрогеологического разреза

Figure 1. Overview map of the study area: 1 – West Siberian mega basin; 2 – Middle Ob hydrogeological basin; 3 – study area; 4 – Shaimsky oil field; 5 – water intake area; 6 – hydrocarbon deposit; 7 – area of observation of technogenic impact; 8 – line of hydrogeological section

залегания интервалов гидрохимического опробования олигоценового водоносного горизонта и значений минерализации подземных вод.

Наличие общей тенденции в изменении вещественного состава песков олигоценового горизонта (относительно содержания в них полевых шпатов и минералов группы магнетит–ильменит) и химического состава подземных вод олигоценового горизонта по площади исследования визуализируется в виде карт изменения показателей.

Зависимость изменения химического состава подземных вод олигоценового горизонта в процессе их эксплуатации (влияние техногенного фактора) определяется на основании корреляции средних значений минерализации подземных вод и величины среднегодового суммарного отбора подземных вод на участках наиболее интенсивного водоотбора.

Результаты исследования и их обсуждение

На основании исходных данных и опыта предыдущих исследователей для изучаемой территории определены факторы, обуславливающие особенности и закономерности изменения химического состава подземных вод олигоценового водоносного горизонта.

Физико-географические факторы

Район исследования расположен в западной части Западно-Сибирской равнины. Северная часть территории находится в зоне возвышенностей, относящихся к Сибирским увалам (Северо-Сосьвинская, Люлимвор и Белогорский материк) с отметками поверхности 101–227 абс. м,

небольшая часть на крайнем востоке – в зоне возвышенности Тобольский материк с отметками 82–100 абс. м, вся остальная площадь относится к Кондинской и Среднеобской низменностям с отметками рельефа 22–88 абс. м.

Рельеф, сформированный под влиянием четвертичных оледенений, эрозионно-денудационных процессов и заболачивания, представляет собой холмисто-увалистую с эрозионным расчленением и пологоволнистую плоскую равнину, в низменностях сильно заболоченную и заозеренную.

Физико-географическая зональность территории исследования обуславливает изменение динамики подземных вод, приводящее к изменению их химического состава по площади. На возвышенностях состав почв и расчлененность рельефа способствуют лучшему, чем в низменностях, поверхностному и подземному стоку.

Влияние физико-географических факторов проявляется в зональности, обусловленной изменением интенсивности водообмена: на возвышенностях воды горизонта на 13 % менее минерализованы и на 35 % меньше содержат иона аммония, чем в низменностях.

Геологические и гидродинамические факторы

В тектоническом отношении район исследования расположен в западной части Западно-Сибирской плиты (геосинеклизы), в относительной близости ее сочленения с Уральским орогеном. Геодинамическая модель развития плиты обусловила формирование гидрогеологической

Таблица 1. Средние и экстремальные значения показателей химического состава подземных вод олигоценового горизонта
Table 1. Average and extreme values of chemical composition indicators of groundwater of the Oligocene horizon

Показатель	Средние значения				Экстремальные значения			
	Количество определений	Пределы значений	Среднее значение	Стандартное отклонение	Количество определений	Пределы значений	Среднее значение	Стандартное отклонение
pH	1511	5,5–8,8	7,0	0,5		5,1–7,2	6,8	0,7
Ж, мг-экв/дм ³	1653	0,2–10,2	2,5	1,5		3,6–9,8	5,8	2,0
M, мг/дм ³	1216	39–924	337	165		1085–3572	1648	682
Na ⁺ + K ⁺ , мг/дм ³	1305	1,4–478,0	45,2	44,7		172,6–1182,2	460,7	257,2
Ca ²⁺ , мг/дм ³	1384	1,4–126,6	27,2	19,2		48,1–136,3	83,5	29,2
Mg ²⁺ , мг/дм ³	1331	1,1–51,6	13,6	8,2		7,3–36,5	19,8	9,7
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	801	0,1–87,8	6,1	9,2	33	1,2–7,2	2,9	1,7
Cl ⁻ , мг/дм ³	1506	0,3–228,4	22,9	38,3		249,9–1801,8	690,4	417,8
HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³	1323	17,7–507,6	222,8	119,8		73,2–634,4	390,9	180,0
NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	945	0,1–7,4	2,6	1,6				
Si, мг/дм ³	547	0,9–28,0	15,1	4,7				
Fe _{общ.} , мг/дм ³	1059	0,2–19,5	6,1	4,3			Не определялось	
Mn, мг/дм ³	771	0,01–1,1	0,3	0,2				

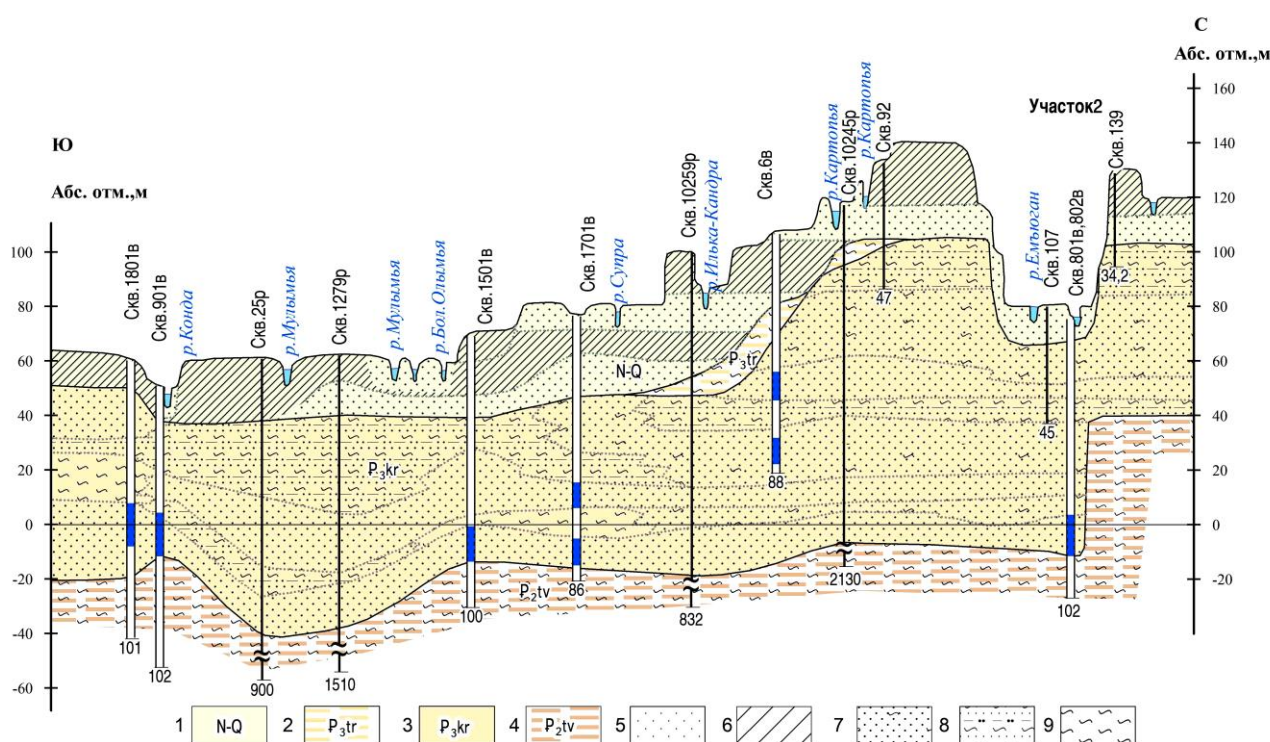


Рисунок 2. Схематический гидрогеологический разрез района: 1 – водоносный неоген-четвертичный горизонт; 2 – водоупорный, локально-слабоводоносный туртасский горизонт; 3 – водоносный куртамышский горизонт; 4 – водоупорный тавдинский горизонт; 5 – пески; 6 – суглинки; 7 – пески глинистые; 8 – переслаивание песков, глин, алевролитов; 9 – глины плотные

Figure 2. Schematic hydrogeological section of the area: 1 – Neogene–Quaternary aquifer; 2 – impermeable, locally weakly aquiferous Turtas horizon; 3 – Kurtamash aquifer; 4 – impermeable Tavda horizon; 5 – sand; 6 – loam; 7 – clayey sand; 8 – interbedding of sand, clay, silt; 9 – dense clay

структуры I порядка – Западно-Сибирского сложного бассейна пластовых безнапорных и напорных вод (мегабассейна). Олигоценый водоносный горизонт входит в его составную часть – кайнозойский гидрогеологический бассейн, объединяющий песчано-алевритистые и глинистые отложения олигоцен-четвертичного возраста, в гидродинамическом отношении представляющего единую водонасыщенную толщу, грунтовые и межпластовые воды которой тесно гидравлически связаны между собой [12].

Складчатый фундамент плиты, сложенный породами доюрского возраста, и пологозалегающие на нем платформенные отложения мезозоя и кайнозоя погружаются от оконтуривающих плиту с запада, юга и востока складчатых сооружений к ее центральным частям. Преобладающее число тектонических структур осадочного чехла различных порядков имеет унаследованный, постепенно затухающий вверх по разрезу характер развития. Так, в районе исследования, в соответствии с общим погруже-

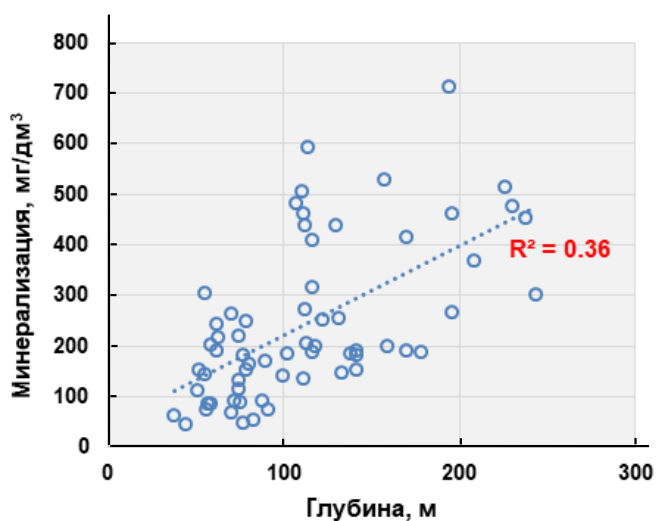


Рисунок 3. График зависимости минерализации подземных вод от глубины залегания интервала опробования
Figure 3. Graph of the dependence of groundwater mineralization on the depth of the sampling interval

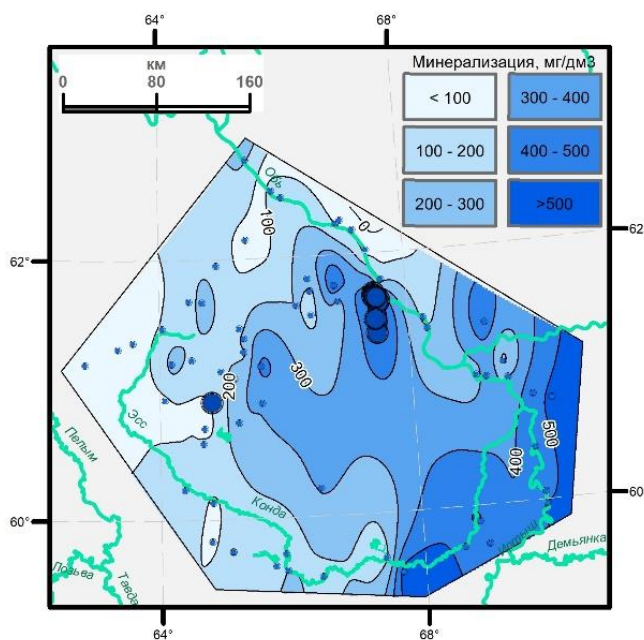


Рисунок 4. Карта изменения минерализации подземных вод олигоценового горизонта
Figure 4. Map of changes in groundwater mineralization in the Oligocene horizon

нием осадочного чехла с запада на восток увеличивается глубина залегания кровли регионального водоупорного горизонта тавдинской свиты эоцена (подошвы олигоценового водоносного горизонта), возрастают мощность олигоценового горизонта и глубины залегания продуктивных интервалов его разреза.

Ведущие элементы неотектоники Западно-Сибирской плиты, сформировавшие системы бассейнов рек Оби и Иртыша и поднятия в районе Сибирских увалов, явились основой для формирования гидрогеологической структуры второго порядка – Среднеобского бассейна подземного стока зоны активного водообмена – и обусловили сокращение мощности олигоценового водоносного горизонта в области неотектонических поднятий тавдинской свиты в результате процессов денудации (район участка № 2, рис. 2).

Приуроченность кайнозойского гидрогеологического бассейна к гидрогеологическим структурам определяет динамику его подземных вод. Области питания потоков подземных вод слоистой водообменной системы бассейнов стока практически совпадают с площадью их распространения; питание происходит через верхнюю границу системы и вертикального водообмена за счет рассредоточенной инфильтрации метеогенных вод; в региональном плане общая тенденция к снижению уровней отмечается в направлении к главной дрене района – долине р. Оби, а местные уклоны создают ее многочисленные притоки. В соответствии с общим погружением осадочного чехла с запада на восток, увеличением мощности и глубины залегания продуктивных интервалов олигоценового водоносного горизонта снижается интенсивность водообмена, что обуславливает повышение минерализации подземных вод (рис. 3, 4).

Литолого-минеральный состав водовмещающих пород и гидрогеохимические взаимодействия в системе вода–порода

На рубеже эоцена и олигоцена оживление тектонической активности привело к энергичному поднятию Западно-Сибирской плиты, вызвавшему уход Чеганского моря за пределы ее территории, установление устойчивого континентального режима и размыв кор выветривания на Урале, к восточному склону которого приурочены месторождения железных и марганцевых руд. Рельеф бывшего дна моря способствовал формированию сложных озерно-речных систем. Аллювиально-озерная равнина в атлымское время была усеяна озерами, бессточными озерно-болотными водоемами и слабо эродирующими реками. В новомихайловское время заболачивание усилилось, увеличилась площадь мелководных озер, речная эрозия затухла [17]. В таких условиях накапливалась мощная толща пород терригенной лигнитоносной формации. Тектонические движения были неравномерными во времени и пространстве, что обусловило формирование различных генетических типов отложений, изменение их мощностей и литологического состава [18]. Весь последующий период геологического времени осадконакопление происходило в условиях континентального режима, аккумулятивных озерно-аллювиальных равнин в низменностях и денудационных равнин на возвышенностях, что обусловило близость литолого-минерального состава всей толщи кайнозойских отложений. Литолого-минеральный состав водовмещающих пород бассейна представлен в основном алюмосиликатами: песками кварцевыми, реже полевошпат-кварцевыми, с включениями растительного детрита и лигнитизированных растительных остатков. В прослоях и линзах присутствуют алевриты и алевритовые глины.

В соответствии с погружением подошвы кайнозойского гидрогеологического бассейна и увеличением мощности олигоценовых отложений по территории исследования происходит замещение куртамышской свиты на ат-

Таблица 2. Средние значения вещественного состава песков куртамышской и атлымской свит олигоцена (по данным геолого-съёмочных работ), %
Table 2. Average values of the material composition of sands of the Kurtamysh and Atlym formations of the Oligocene (according to geological survey data), %

Минерал	Химическая формула	P-41		P-42	O-41	O-42	Среднее значение	
		Куртамышская свита	Атлымская свита	Атлымская свита	Куртамышская свита	Атлымская свита	Куртамышская свита	Атлымская свита
<i>Легкая фракция</i>								
Кварц	SiO ₂	90,0	82,5	57,5	79,5	55,0	84,8	65,0
Полевой шпат	K, Na, [AlSi ₃ O ₈]	7,5	10,0	35,7	17,9	32,0	12,7	25,9
<i>Тяжелая фракция</i>								
Магнетит–ильменит	FeO Fe ₂ O ₃ , FeTiO ₃	65,0	65,0	66,0	67,2	38,7	66,1	56,6
Группа эпидота	Ca ₂ Fe ³⁺ Al ₂ (Si ₂ O ₇)(SiO ₄)O(OH)	Нет свед.	10,5	11,9	15,9	24,0	15,9	15,5
Лейкоксен-титанистые минералы	Fe ₂ , Ti ₃ O ₉	7,0	Нет свед.	Нет свед.	8,0	18,8	7,5	18,8
Циркон	ZrSiO ₄	8,0	Нет свед.	Нет свед.	9,4	5,5	8,7	5,5

лым-новомихайловскую. В формировании вещественного состава свит большую роль сыграл вынос обломочного материала с Урала, поэтому, в направлении удаления от него происходит изменение относительного содержания основных компонентов минерального состава водовмещающих песков свит по площади, проявляющегося в увеличении относительного содержания полевых шпатов за счет сокращения содержания кварца в направлении с запада на восток, а также снижении содержания минералов группы магнетит–ильменит с севера-запада на юго-восток (табл. 2, рис. 5).

Ведущая роль вещественного состава среды в формировании химизма вод, а особенно в верхней гидрогеохимической зоне, подчеркивается многочисленными исследователями. В водоносных горизонтах, заключенных в осадочных толщах, обогащение вод ионами осуществляется непосредственно за счет выщелачивания растворимых минералов, находящихся в породах. В мелкозернистой, содержащей коллоиды среде, формирование химического состава воды усложняется катионным обменом, диагенезом и другими сопутствующими явлениями [3].

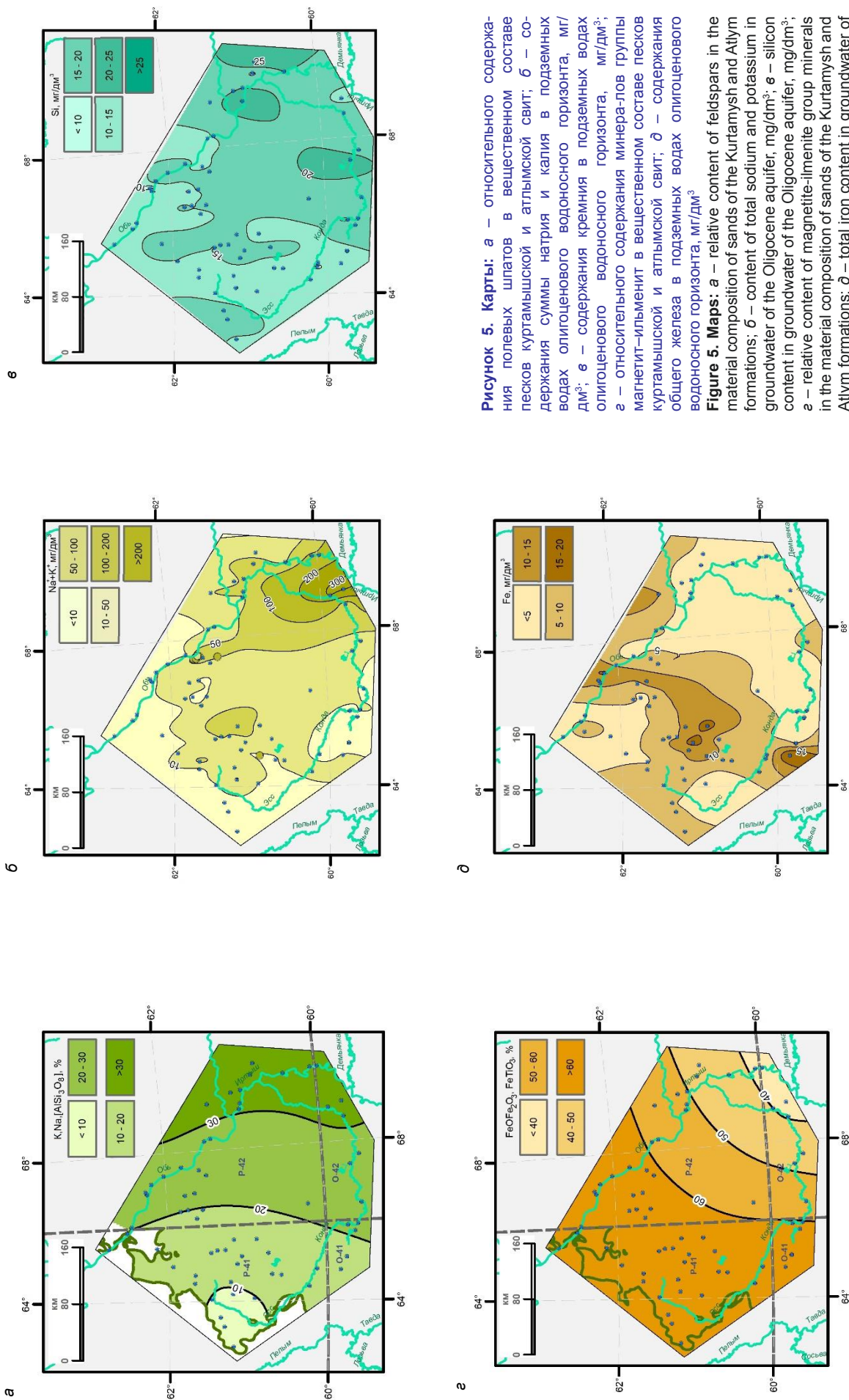
Основными компонентами химического состава подземных вод олигоценного горизонта среди катионов являются натрий, кальций, магний и ион аммония, среди анионов – гидрокарбонаты, хлориды, редко – сульфаты, среди прочих неорганических веществ основное количество составляют кремний, железо и марганец.

Натрий входит в состав многих силикатов, в основном натриевых полевых шпатов, *калий* поступает в подземные воды при их взаимодействии с калийсодержащими минералами, такими как ортоклаз, микроклин, флогопит и мусковит, гидрослюда. В осадочных породах важнейшими источниками *кальция* и *магния* являются кальцит – основной минерал известняков, мергелей, мела, а также доломит и магнезит. Источником *хлора* являются осадочные породы и седиментационные растворы. Основным источником поступления *углекислоты* в подзем-

ные воды является атмосферный CO₂, большое значение в образовании которого имеют превращения в почвенных горизонтах. В результате его взаимодействия с водой образуются *гидрокарбонат-ион* и свободный ион водорода. В осадочных породах источниками *сульфатов* являются сульфатные минералы – гипс и ангидрит. Источником *кремния* в подземных водах являются многочисленные силикатные минералы, при их взаимодействии с водой в жидкую фазу переходят значительные количества кремния в форме H₄SiO₄. Основным источником *железа* в подземных водах являются алюмосиликатные минералы, содержащие его окислы, а также донные отложения болот и водоемов, переводящие его в раствор в виде сложных комплексов органических кислот [19].

В процессе разложения органических веществ, содержащих в своем составе белок, бактерии-амонификаторы продуцируют и обогащают подземные воды [20]. Песчано-глинистые, кремнистые, конкреционно-глинистые осадочные отложения, содержащие минералы уральских марганцевых руд, такие как манганокальцит, кальциевый родохрозит, пиролюзит, псиломелан и манганит, способствуют накоплению *марганца* в подземных водах.

Влияние литолого-минерального состава пород наблюдается в закономерности повышения с запада на восток содержания в подземных водах олигоценного горизонта кремния, а также суммы натрия и калия, прямо отвечающей тенденции изменения относительного содержания полевых шпатов в водовмещающих песках горизонта. Ввиду отсутствия данных проследить закономерность изменения содержания марганца в породах олигоцена не представляется возможным, однако отмечаемая тенденция снижения его содержания в подземных водах с северо-запада на юго-восток сходна с тенденцией снижения содержания в этом направлении общего железа (рис. 5, д), поэтому логично ввиду близости процессов их гидрохимии [2] и отвечает тенденции удаления от уральских месторождений железных и марганцевых руд.



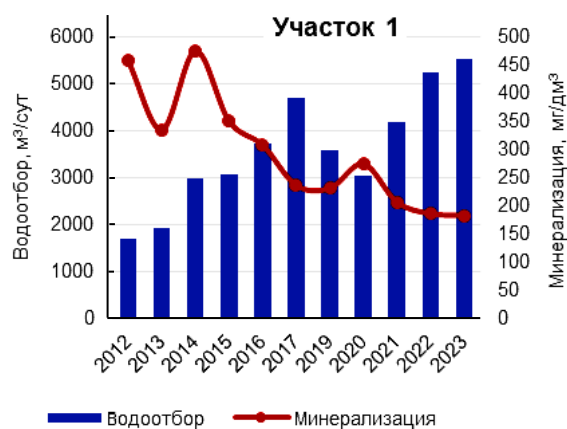


Рисунок 6. Динамика минерализации подземных вод в процессе водоотбора на участке № 1
Figure 6. Dynamics of groundwater mineralization during water extraction at site no. 1

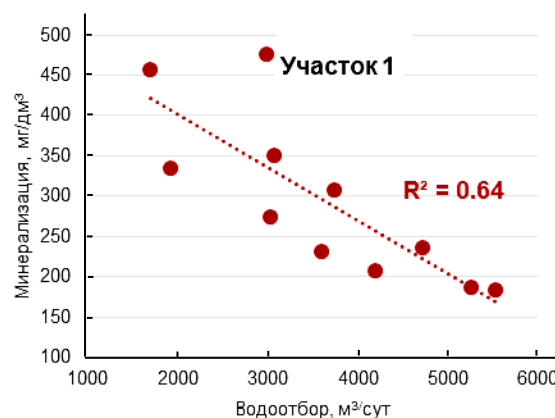
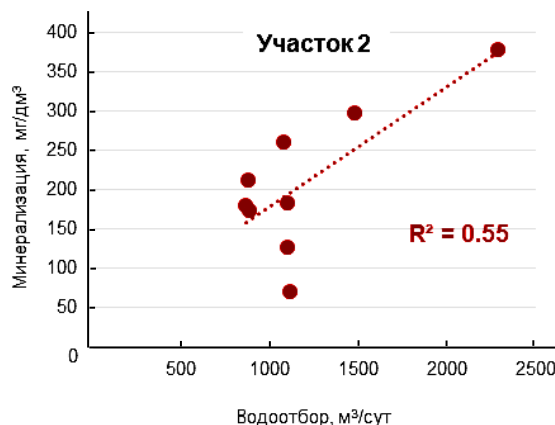


Рисунок 7. Динамика минерализации подземных вод в процессе водоотбора на участке № 2
Figure 7. Dynamics of groundwater mineralization during water extraction at site no. 2



Техногенный фактор

Район исследования является районом интенсивной нефтедобычи с применением системы поддержания пластового давления. Наряду с использованием в качестве агента заводнения нефтяных пластов высокоминерализованных подземных вод апт-альб-сеноманского водоносного комплекса преимущественно хлоридного анионного состава здесь применяются пресные воды олигоценевого горизонта. Водоотбор пресных вод, например, в Шаимском НГР на участках компактно расположенных водозаборных кустов площадью 1,08 тыс. км² (Участок № 1) и 0,35 тыс. км² (Участок № 2), рис. 1, в зависимости от потребности составляет соответственно 1,7–5,5 тыс. м³/сут и 0,9–2,2 тыс. м³/сут. Заводнение нефтяных пластов осуществляется как после смешения с высокоминерализованными подтоварными водами, так и напрямую – из водозаборной скважины в нагнетательную.

Эксплуатация водозаборных скважин приводит к изменению динамики подземных вод, косвенно влияя на их химический состав. В результате водоотбора в эксплуатируемом пласте увеличивается скорость фильтрационного потока, создаются условия для перетекания как ультра-

пресных вод вышележащих горизонтов, приводящие к снижению минерализации вод (рис. 6), так и для подтягивания высокоминерализованных вод нижележащих водоносных горизонтов в местах «литологических окон», приводящие к ее повышению (рис. 7). Вероятно, изменением скорости водообмена обусловлен рост неоднородности ионно-солевого состава в 2006–2018 гг. по отношению к периоду ввода в эксплуатацию водозаборных скважин (1970–1980-е гг.) в сопоставимых точках наблюдений, отмеченный ранее в данном регионе [16].

Закачка в нефтяные пласты прямым способом создает риск загрязнения пресных подземных вод при аварийных ситуациях, что может обуславливать несистематическое загрязнение подземных вод на локальных участках, о чем свидетельствует эпизодическое появление химических анализов с хлоридным типом вод, а также экстремальными для региона значениями минерализации – свыше 1000 мг/дм³ (рис. 4).

Выводы

В результате наблюдения за проявлением действия физико-географических, геологических, гидродинамических и техногенных факторов в западной части Среднеобского гидрогеологического бассейна определено:

1. Минерализация и степень обогащения органическим веществом подземных вод горизонта изменяется по площади закономерно в соответствии с физико-географической зональностью и геолого-структурным планом района;

2. Фактором формирования основного состава подземных вод, повышенных концентраций в них кремния, общего железа, аммония и марганца, закономерностей изменения данных показателей по площади являются особенности и изменение по площади литолого-минерального состава водовмещающих пород олигоценового горизонта, а также гидрогеохимические взаимодействия в системе *вода–горная порода*;

3. Изменение динамики подземных вод при водоотборе является фактором, влияющим на минерализацию вод за счет изменения характера водообмена;

4. Нарушение естественного гидрогеохимического режима подземных вод определяет экстремальные значения минерализации и хлоридный тип вод на локальных участках.

В целом можно заключить, что особенности и закономерности пространственного изменения химического состава подземных вод горизонта обусловлены совместным действием физико-географических, геологических, геодинамических, и техногенных факторов, основными из которых являются приуроченность к краевой части Западно-Сибирской плиты, а также техногенное изменение естественного гидрогеохимического режима подземных вод в процессе их эксплуатации.

Результаты исследования могут служить основой для прогноза показателей качества подземных вод олигоценового горизонта в районе исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Посохов Е. В. Формирование химического состава подземных вод (основные факторы). Л.: Гидрометеиздат, 1969. 334 с.
2. Крайнов С. Р., Рыженко Б. Н., Швец В. М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М.: Центр-ЛитНефтеГаз, 2012. 672 с.
3. Зверев В. П. Подземные воды земной коры и геологические процессы. М.: Научный мир, 2006. 256 с.
4. Шварцев С. Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. М.: Недра, 1998. 366 с.
5. Redwan M., Abdel Moneim A. A. Factors controlling groundwater hydrogeochemistry in the area west of Tahta, Sohag, Upper Egypt // *Journal of African Earth Sciences*. 2016. Vol. 118. P. 328–338. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2015.10.002>
6. Jayaprakash M., Giridharan L., Venugopal T., Krishna Kumar S. P., Periakali P. Characterization and evaluation of the factors affecting the geochemistry of groundwater in Neyveli, Tamil Nadu, India // *Environmental Geology*. 2008. Vol. 54. P. 855–867. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0868-6>
7. Emvoutou H. C., Ketchemen Tandia B., Ngo Boum Nkot S., Ebonji R. C. S., Nlend Y. B., Ecodeck G. E., Stumpp C., Maloszewski P., Faye S. Geologic factors controlling groundwater chemistry in the coastal aquifer system of Douala/Cameroon: implication for groundwater system functioning // *Environmental Earth Sciences*. 2018. Vol. 77. Article number 219. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7400-z>
8. Шварцев С. Л., Иванов В. Г., Юшков С. А. О равновесии артезианских вод Западно-Сибирского бассейна с горными породами // *Геология, гидрогеология и инженерная геология Западной Сибири: межвуз. темат. сборник*. Тюмень: ТИИ, 1982. С. 32–41.
9. Шубенин Н. Г., Трофимов А. В. Геохимия железа в подземных водах олигоцен-четвертичных отложений юга Тюменской области // *Пресные и маломинерализованные подземные воды Западной Сибири: межвуз. сборник науч. трудов*. Тюмень, 1989. С. 56–64.
10. Трофимова Н. С. Окислительно-восстановительная обстановка вод олигоцен-четвертичных отложений юга Тюменской области // *Практическое использование и охрана подземных вод Западно-Сибирского мегабассейна: межвуз. сборник науч. трудов*. Тюмень, 1990. С. 73–76.
11. Иванова И. С. Формы миграции марганца в подземных водах Южной части Среднеобского бассейна (Западная Сибирь) // *Гидрогеология и карстоведение: межвуз. сборник науч. трудов*. Пермь; Оренбург: ПГНИУ, 2013. Вып. 19. С. 112–118. <https://www.elibrary.ru/ISPNSJ>
12. *Гидрогеология СССР*. Т. XVI. Западно-Сибирская равнина (Тюменская, Омская, Новосибирская и Томская области) / под ред. А. В. Сидоренко. М.: Недра, 1970. 368 с.
13. Бешенцев В. А., Пономарев А. А. Формирование техногенных гидрогеологических систем на территории Ямало-Ненецкого автономного округа // *Геозкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология*. 2009. № 2. С. 123–135. <https://www.elibrary.ru/JWNQBD>
14. Торопов Г. В., Бешенцев В. А. Особенности формирования химического состава природных вод на территории Уренгойского нефтегазодобывающего региона (на примере Уренгойского НГКМ) // *Вестник ТюмГУ. Экология и природопользование*. 2013. № 4. С. 115–124. <https://www.elibrary.ru/QZKOLX>
15. Вашурина М. В., Русакова Ю. О., Храмцова А. Л. Прогноз изменения гидрохимического облика пресных подземных вод в условиях интенсивного нефтяного освоения Западной Сибири // *Академический журнал Западной Сибири*. 2017. Т. 13. № 4 (71). С. 6–9.
16. Вашурина М. В., Русакова Ю. О., Храмцова А. Л. Химический состав пресных подземных вод в естественном и нарушенном состоянии на территории юго-западной части ХМАО – Югры // *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*. 2018. № 7. С. 44–51.
17. Малолетко А. М. Эволюция речных систем Западной Сибири в мезозое и кайнозое. Томск: ТГУ, 2008. 288 с.
18. Ананьев С. А., Носков И. В., Носков К. И. Развитие территории центральной части Западно-Сибирской равнины в олигоцен-четвертичное время // *Вестник Евразийской науки*. 2021. Т. 13. № 1. С. 1–12. <https://www.elibrary.ru/SXMSJB>
19. Казак Е. С. Изучение миграции железа в подземных водах (на примере воронежских водозаборов) // *Геозкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология*. 2010. № 6. С. 503–510. <https://www.elibrary.ru/NCKQRV>
20. Закутин В. П., Чугунова Н. Н., Фетисенко Д. А. Аммонийсодержащие подземные воды (условия их формирования и распространения) // *Водные ресурсы*. 1995. Т. 22. № 6. С. 726–737.

Статья поступила в редакцию 25 ноября 2024 года

Factors of formation of the chemical composition of groundwater of the Oligocene aquifer in the western part of the Middle Ob hydrogeological basin

Yuliya Olegovna RUSAKOVA

West Siberian Branch of Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of the Siberian Branch of RAS, Tyumen, Russia

Abstract

Purpose and relevance of the work. The constantly growing demand for fresh groundwater in the region of intensive oil production and potential anthropogenic impact on groundwater necessitates the forecasting of qualitative and quantitative indicators of their chemical composition. The purpose of the study is to determine and analyse the effect of conditions and factors on the formation of spatial and temporal patterns of change in the chemical composition of groundwater of the Oligocene horizon in the western part of the Sredneobsky hydrogeological basin.

The research methods included the analysis of physiographic, geological, hydrodynamic and anthropogenic factors and assessment of their influence on the changes in the indicators of the chemical composition of groundwater of the Oligocene horizon.

The results of the work and their application. As a result of the study it was determined that mineralisation and the degree of enrichment of organic matter in groundwater horizon varies over the area in a regular way in accordance with the physiographic zonality and geological–structural plan of the area. The peculiarities and changes in the lithological and mineral composition of water-bearing rocks are the factor of formation of the variegated basic composition of groundwater and increased concentrations of silicon, total iron, ammonium and manganese in it, as well as the regularities of changes in these indicators over the area. Change of groundwater dynamics under water withdrawal is the factor influencing water mineralisation due to change of water exchange character. Violation of the natural hydrogeochemical regime determines extreme values of mineralisation and chloride type of water at local sites. The results of the study can serve as a basis for predicting groundwater quality indicators of the Oligocene horizon in the study area.

Conclusions. The peculiarities of the chemical composition of groundwater of the Oligocene horizon are caused by the joint action of physiographic, geological, geodynamic, and anthropogenic factors, the main of which are the confinement to the edge part of the West Siberian plate, as well as anthropogenic changes in the natural hydrochemical regime of groundwater in the process of their exploitation.

Keywords: Oligocene aquifer, chemical composition of groundwater, formation factors.

REFERENCES

1. Posokhov E. V. 1969, Formation of Chemical Composition of Groundwater (Main Factors). Leningrad, 334 p. (*In Russ.*)
2. Kraynov S. R., Ryzhenko B. N., Shvets V. M. 2012, Geochemistry of Groundwater. Theoretical, Applied and Ecological Aspects. Moscow, 672 p. (*In Russ.*)
3. Zverev V. P. 2006, Underground Waters of the Earth's Crust and Geological Processes. Moscow, 256 p. (*In Russ.*)
4. Shvartsev S. L. 1998, Hydrogeochemistry of the Hypergenesis Zone. Moscow, 366 p. (*In Russ.*)
5. Redwan M., Abdel Moneim A. A. 2016, Factors Controlling Groundwater Hydrogeochemistry in the Area West of Tahta, Sohag, Upper Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, vol. 118, pp. 328–338. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2015.10.002>
6. Jayaprakash M., Giridharan L., Venugopal T., Krishna Kumar S. P., Periakali P. 2008, Characterization and Evaluation of the Factors Affecting the Geochemistry of Groundwater in Neyveli, Tamil Nadu, India. *Environmental Geology*, vol. 54, pp. 855–867. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0868-6>
7. Emvoutou H. C., Ketchemen Tandia B., Ngo Boum Nkot S., Ebonji R. C. S., Nlend Y. B., Ecodeck G. E., Stumpp C., Maloszewski P., Faye S. 2018, Geologic Factors Controlling Groundwater Chemistry in the Coastal Aquifer System of Douala/Cameroon: Implication for Groundwater System Functioning. *Environmental Earth Sciences*, vol. 77. Article number 219. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7400-z>
8. Shvartsev S. L., Ivanov V. G., Yushkov S. A. 1982, On the Equilibrium of Artesian Waters of the West Siberian Basin with Rocks. *Geology, Hydrogeology and Engineering Geology of Western Siberia: Interuniversity Thematic Collection*. Tyumen, pp. 32–41. (*In Russ.*)
9. Shubenin N. G., Trofimov A. V. 1989, Geochemistry of Iron in Groundwater of Oligocene-Quaternary Deposits in the South of the Tyumen Region. Fresh and Low-Mineralized Underground Waters of Western Siberia: Interuniversity Thematic Collection. Tyumen, pp. 56–64. (*In Russ.*)
10. Trofimova N. S. 1990, Oxidation-Reduction Conditions of Waters of Oligocene-Quaternary Deposits of the South of the Tyumen Region. Practical Use and Protection of Groundwater of the West Siberian Megabasin: Interuniversity Thematic Collection. 73–76. (*In Russ.*)
11. Ivanova I. S. 2013, Migration Forms of Manganese in Groundwater of Sredneobskoy Basin (Western Siberia). *Hydrogeology and Karstology: Interuniversity Collection of Scientific Papers*. Perm, issue 19, pp. 112–118. (*In Russ.*) <https://www.elibrary.ru/ISPNST>

✉ julrusakova@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1258-4598>

12. Sidorenko A. V. 1970, Hydrogeology of the USSR, vol. XVI. West Siberian Plain. Moscow, 368 p. (*In Russ.*)
13. Beshentsev V. A., Ponomarev A. A. 2009, Formation of Man-Made Hydrogeological Systems in the Territory of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug. *Geoekologiya. Inzhenernaya Geologiya, Gidrogeologiya, Geokriologiya* [Geoecology. Engineering Geology, Hydrogeology, Geocryology], no. 2, pp. 123–135. (*In Russ.*) <https://www.elibrary.ru/JWNQBD>
14. Toropov G. V., Beshentsev V. A. 2013, Features of Formation of the Chemical Composition of Natural Water in the Urengoy Oil and Gas Production Area (The Case of The Urengoy Oil and Gas Condensate Field). *Vestnik tyumgu. Ekologiya i prirodopol'zovaniye* [Tyumen State University Bulletin. Ecology and Nature Management], no. 4, pp. 115–124. (*In Russ.*) <https://www.elibrary.ru/QZKOLX>
15. Vashurina M. V., Rusakova Yu. O., Khramtsova A. L. 2017, Forecast of Changes in the Hydrochemical Appearance of Fresh Groundwater in the Conditions of Intensive Oil Development in Western Siberia. *Akademicheskii Zhurnal Zapadnoy Sibiri* [Academic Journal of Western Siberia], vol. 13, no. 4 (71), pp. 6–9. (*In Russ.*)
16. Vashurina M. V., Rusakova Yu. O., Khramtsova A. L. 2018, Chemical Composition of Fresh Groundwater in Natural and Disturbed States in the Southwestern Part of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy* [Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields], no. 7, pp. 44–51. (*In Russ.*)
17. Maloletko A. M. 2008, Evolution of river systems of Western Siberia in the Mesozoic and Cenozoic. Tomsk, 288 p. (*In Russ.*)
18. Ananyev S. A., Noskov I. V., Noskov K. I. 2021, Centrifugal Modeling in Building Construction. *Vestnik Yevraziyskoy nauki* [The Eurasian Scientific Journal], vol. 13, no. 1, pp. 1–12. (*In Russ.*) <https://www.elibrary.ru/SXMSJB>
19. Kazak E. S. 2010, The Study of Iron Migration in Groundwater Upon Water Intake (Using the Example of Voronezh Water Supply Facilities). *Geoekologiya. Inzhenernaya Geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya* [Geoecology. Engineering Geology, Hydrogeology, Geocryology], no. 6, pp. 503–510. (*In Russ.*) <https://www.elibrary.ru/NCKQRV>
20. Zakutin V. P., Chugunova N. N., Fetisenko D. A. 1995, Ammonium-Containing Groundwater (Conditions of Their Formation and Distribution). *Vodnyye resursy* [Water Resources], vol. 22, no. 6, pp. 726–737. (*In Russ.*)

The article was received on November 25, 2024