



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНСТИТУТ НАУК О ЗЕМЛЕ
Кафедра социально-экономической географии и природопользования

РЕКОМЕНДОВАНО К ЗАЩИТЕ
В ГЭК И ПРОВЕРЕНО НА ОБЪЕМ
ЗАИМСТВОВАНИЯ

И.о. заведующей кафедрой


к.г.н., доцент
И.Д. Ахмедова
 2018 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА ВЕРХНЕ-
САЛЫМСКОМ ЛИЦЕНЗИОННОМ УЧАСТКЕ К АНТРОПОГЕННУМУ
ВОЗДЕЙСТВИЮ

05.04.06 Экология и природопользование
Магистерская программа «Геоэкология нефтегазодобывающих регионов»

Выполнила работу
Студент 2 курса
очной формы обучения



Тоголин
Алексей
Андреевич

Научный руководитель
* доктор хим. наук,
профессор



Кремлева
Татьяна
Анатолевна

Рецензент
И.о. зав. кафедрой органической и
экологической химии института
химии ТюмГУ, к.т.н., доцент



Шигабаева
Гульнара
Нургаллаевна

г. Тюмень, 2018

АННОТАЦИЯ

Актуальность исследования обуславливает наличие специфической нагрузки на экосистемы, расположенные вблизи лицензионных участков. Основными загрязняющими веществами, поступающими в окружающую среду при эксплуатации нефтегазовых месторождений, являются нефтяные углеводороды, другие органические вещества, подтоварные воды, обогащенные различными солями, в том числе тяжелыми металлами. При сжигании попутного нефтяного газа в атмосферу попадают кислотообразующие оксиды (NO_x , SO_2 , SO_3 , CO_2), продукты неполного сгорания, что также оказывает негативное воздействие на экологию. Для оценки потенциальной устойчивости водных объектов в отношении поступления этих веществ в работе проведено основных показателей химического состава водной среды: pH, ионного состава, содержания органических веществ, микроэлементов и основных органических токсикантов (нефтепродукты).

По результатам работы исследуемые воды малых рек Верхне-Салымского ЛУ можно отнести к гидрокарбонатному классу вод группы кальция. Все исследуемые малые реки слабо минерализованы, ультрапресные (общая минерализация менее 200 мг/л) и относятся к нейтральным (значение pH варьирует в диапазоне: 6,78-7,79). Такое значение pH указывает на достаточно высокую устойчивость водной среды в отношении процессов закисления. По результатам определения содержания металлов (Cd, Pb, Cr, Ni, Mn, Al, Fe, Cu) выявлено превышение ПДК по железу (во всех пробах, кратность превышения ПДК порядка 30 единиц), алюминию (во всех пробах кроме пробы № 5, превышение составляет 3 ПДК) и меди (в пробах № 4 и 6, кратность превышения составляет 1 ПДК). Содержание остальных металлов не превышает ПДК_{рбх}. Содержание железа во всех водных объектах (от 130 до 160 мкмоль/дм³) намного выше содержания органического углерода (от 16 до 20 мг/дм³). Такого количества гумусовых веществ недостаточно для инактивации тяжелых металлов присутствующих в водоёмах, что указывает на потенциальную уязвимость к дополнительному поступлению этих веществ.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1 ТЕОРИТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УСТОЙЧИВОСТИ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ	6
1.1 Экологические проблемы при добыче нефти и газа	6
2.1 Способы оценки устойчивости водных экосистем	8
Выводы.....	12
ГЛАВА 2 МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОД.....	13
2.1 Физико-географическая характеристика Нефтеюганского района	13
2.2 Отбор проб и определение химического состава вод.....	23
2.3 Определение ионного состава.....	25
2.4 Определение рН, электропроводности и цветности водной среды.....	27
2.5 Определение содержания минеральных и органических форм углерода.....	29
2.6 Фотометрическое определение общего железа.....	30
2.7 Определение концентраций металлов методом атомно-абсорбционной спектроскопии.....	31
2.8 Определение содержания нефтепродуктов методом ИК-спектроскопии.....	33
Выводы.....	34
ГЛАВА 3 ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ВОД МАЛЫХ РЕК ВЕРХНЕ-САЛЫМСКОГО ЛУ	35
3.1 Определение ионного состава малых рек Верхне-Салымского ЛУ	35
3.2 Интегральные характеристики вод малых рек Верхне-Салымского ЛУ	35
3.3 Содержание минеральных и органических форм углерода в пробах вод малых рек Верхне-Салымского ЛУ	36
3.4 Характеристика содержания тяжёлых металлов.....	38
Выводы.....	42
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	43
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ	44
ПРИЛОЖЕНИЕ	48

ВВЕДЕНИЕ

Тюменская область богата месторождениями нефти и газа. Это обуславливает специфическую нагрузку на экосистемы, расположенные вблизи лицензионных участков. Основными загрязняющими веществами, поступающими в окружающую среду при эксплуатации нефтегазовых месторождений, являются нефтяные углеводороды, другие органические вещества, подтоварные воды, обогащенные различными солями, в том числе тяжелыми металлами. При сжигании попутного нефтяного газа в атмосферу попадают кислотообразующие оксиды (NO_x , SO_2 , SO_3 , CO_2), продукты неполного сгорания, что также оказывает негативное воздействие на экологию.

Химический состав малых рек и озер способен быстро реагировать на негативное воздействие, и достаточно быстро восстанавливаться при условии снижения нагрузки. Анализ состояния водных экосистем позволяет получать представление об общей экологической ситуации в районах нефтедобычи Ханты-Мансийского АО-Югры.

Цель исследования: оценка устойчивости малых рек на территории Верхне-Салымского лицензионного участка к антропогенному воздействию.

Задачи исследования:

1. Выявить источники антропогенного загрязнения водных объектов в пределах осваиваемых нефтегазовых месторождений и оценить степень их влияния на качество поверхностных вод.
2. Провести анализ природных факторов формирования качества поверхностных вод в среднетаежной подзоне Западной Сибири.
3. Изучить гидрохимический состав речных вод в пределах Верхне-Салымского месторождения и провести расчет индекса загрязнения малых рек.
4. Оценить экологическую устойчивость вод малых рек.

Объект исследования – малые реки Верхне-Салымского лицензионного участка.

Предмет исследования – устойчивость водных экосистем к химическому загрязнению.

Личный вклад автора: непосредственно принимал участие в сборе материала, а также проведении полевых исследований и камеральной обработки. Автором были сформулированы цели и задачи работы, самостоятельно проведен анализ данных и обработка материалов.

Методы исследования: метод анализа и обобщения литературных источников, расчетный метод, графических и картографических построений, химико-аналитические методы.

Положения, выносимые на защиту:

1. Устойчивость водных экосистем малых рек региона определяется кислотностью среды и наличием органического вещества.
2. Малые реки территории Верхне-Салымского месторождения относятся к категории "Очень грязные", основной вклад в загрязнение вносят железо и алюминий.
3. Высокая устойчивость речных вод по отношению к загрязнению оксидами металлов обуславливается нейтральной реакцией, а низкая устойчивость по отношению к загрязнению тяжелыми металлами определяется низким содержанием органического углерода (гумусовых веществ).

Научная новизна – заключается в применении описанных в литературе подходов к определению устойчивости (уязвимости) водоёмов в отношении объектов, расположенных на территории добычи нефти, в зоне высокой антропогенной нагрузки.

Практическая значимость – полученные в работе результаты могут быть использованы в системе мониторинга состояния природных экосистем на территории лицензионных участков.

Структура работы - магистерская диссертация состоит из введения, 3 глав и заключения, изложенных на 48 страницах, содержит 3 рисунка, 13 таблиц, список литературы из 47 наименований; 1 приложения.

ГЛАВА 1 ТЕОРИТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УСТОЙЧИВОСТИ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

1.1 Экологические проблемы при добыче нефти и газа

В Тюменской области, где ежегодно добывается порядка 200 млн. т. нефти (не менее 50% общероссийской добычи), расположено свыше 300 месторождений нефти и газа. [44] В ее нефтегазодобывающем комплексе развиты все этапы, связанные с использованием углеводородного сырья, - геологоразведочные работы, бурение эксплуатационных скважин, добыча, подготовка, хранение, транспортировка и переработка сырья - каждый из которых характеризуется определенной спецификой техногенного воздействия на окружающую среду. В пределах области подавляющее количество выбросов в атмосферу от стационарных источников приходится именно на предприятия нефте- и газодобычи (соответственно 40,6 и 24,6% общего выброса вредных веществ по Тюменской области, составившего в 1995 г. 1876,2 тыс. т), а отсутствие при их обустройстве пыле- и газоочистного оборудования свидетельствует о самом низком среди всех субъектов Российской Федерации уровне вредных выбросов, достигающего всего лишь 1,5% [42]. Отдельные нефтедобывающие территории по состоянию природной среды приближаются к районам экологического бедствия.

Освоение месторождений углеводородного сырья сопровождается геологоразведочными, буровыми и строительными работами, прокладкой магистральных трубопроводов, дорог, ростом городов и поселков, развитием местной промышленности. В общем случае в пределах нефтегазодобывающих территорий существует значительное количество разнообразных по способу и характеру проявления источников и видов техногенного воздействия на окружающую природную среду. С экологической точки зрения для нефтегазодобывающих районов Тюменской области большое значение имеют следующие факты. Прежде всего, в последние годы существенного уменьшения техногенной нагрузки на окружающую среду в пределах Тюменской области не произошло [12, 19, 21, 36, 38].

Практически все технологические процессы нефтегазодобычи – бурение разведочных и эксплуатационных скважин, добыча, подготовка, хранение и транспортировка углеводородного сырья – являются потенциальными источниками техногенного загрязнения различных компонентов окружающей среды. Это связано как с наличием в добываемом сырье, в технологических и сопутствующих выбросах, в различных отводимых водах, в образующихся твердых отходах широкого круга

органических и неорганических поллютантов [13], так и с применением в производстве разнообразных материалов и химических веществ [14].

В большинстве случаев из-за использования устаревших технологий добычи, несовершенства систем сбора и транспорта добываемого углеводородного сырья и утилизации отходов, высокой обводненности многих месторождений, некачественного оборудования, техногенных аварий происходит разнообразное (механическое, химическое и др.) и существенное воздействие на природные ландшафты. Это проявляется в высоких уровнях загрязнения воздуха, почв, водных объектов, обуславливает критическое состояние экосистем и их полную деградацию, качественное ухудшение и истощение природных ресурсов [27].

Негативные экологические последствия, обусловленные интенсивной эксплуатацией Западно-Сибирского нефтегазового комплекса, резко сказываются на основных водных артериях этого региона. Следует отметить, что низкое качество воды системы Оби в пределах Тюменской области в существенной мере обусловлено влиянием промышленных предприятий, расположенных на сопредельных территориях (в Свердловской, Курганской, Омской, Томской областях и Казахстане)[42].

Большинство рек, озер и водохранилищ Обского бассейна загрязнены веществами антропогенного происхождения, концентрации которых превышают нормативные уровни[39]. Как уже отмечалось, в водах Оби и ее притоков в настоящее время наблюдаются очень высокие содержания нефтепродуктов. Воды рек характеризуются также повышенными концентрациями фенолов, хлоридов, сульфатов, а также разнообразных компонентов буровых растворов [21]. В водных экосистемах Средней и Нижней Оби отмечается увеличение концентраций некоторых тяжелых металлов в воде, взвешьях, донных отложениях, других химических элементов и их соединений [32]. В летний период в реках Тюменской области вследствие пониженной температуры воды и высокой скорости течения удлиняется период разложения загрязняющих веществ и увеличивается в несколько раз дальность их миграции. В зимнее время при полном или значительном промерзании многих рек процессы самоочищения практически исключены, что способствует накоплению загрязняющих веществ в донных отложениях водотоков. Ухудшение гидрохимического режима рек повлекло за собой неблагоприятные изменения в составе биоценозов зоопланктона и бентоса – основных кормовых организмов для промысловых рыб, численность и видовое разнообразие которых снижаются [21]. Существует даже мнение[25], что усиливающееся техногенное загрязнение рек Тюменской области, впадающих в моря Северного Ледовитого океана (Обь, Пур, Таз), в условиях низкой самоочищающей способности обуславливает опасность резкого перехода

водных (речных и морских) экосистем из состояния «загрязнения» в состояние экологической катастрофы [19].

Реки бассейна Средней и Нижней Оби на протяжении более 40 лет испытывают значительное техногенное воздействие, обусловленное функционированием крупнейшего в России Западно-Сибирского нефтегазового комплекса. Влияние нефтегазовой промышленности на формирование качества речных вод может носить постоянный характер посредством организованного поступления сточных вод, сезонный (преимущественно в период весеннего половодья и летне-осенних дождевых паводков) и эпизодический, связанный с возникновением аварийных ситуаций на объектах нефтепромысла [37].

Если воздействие организованных источников загрязнения можно оценить количественно и качественно, контролировать и регулировать поступление сточных вод в водные объекты, то эпизодическое загрязнение не поддается прямому контролю, ограничению, количественной оценке [37].

Приоритетным загрязнением рек Среднего Приобья является нефтяное. Опасность его заключается в мобильности водной среды. Последствия загрязнения рек нефтяными углеводородами (НУВ) проявляются даже в местах отсутствия нефтепромысловых работ.

Особое внимание рассредоточенным источникам загрязнения обусловлено и тем, что они зачастую играют решающую роль в формировании качества речных вод. Важно не только систематизировать рассредоточенные источники нефтяного загрязнения, но и получить количественную оценку поступления НУВ в водные объекты диффузным путем. На сегодняшний день такие данные отсутствуют. Кроме того, не менее важен прогноз поступления НУВ в водные объекты при изменении площади нефтезагрязненных участков земель [37].

Длительное воздействие техногенных факторов в бассейне Средней и Нижней Оби привело к замедлению процессов самоочищения в водных объектах, что, в свою очередь, отразилось и на их устойчивости. Устойчивость поверхностных водных объектов к нефтяному загрязнению изучена недостаточно [37].

2.1 Способы оценки устойчивости водных экосистем

Водная экосистема это природный объект, который является единством взаимозависимых среды и обитающей в ней биоты. Поэтому, для того, чтобы охарактеризовать состояние водной экосистемы, необходимо знать показатели воды как среды обитания и показатели биотической (организменной) части экосистемы [11].

Каждая водная экосистема находится в определенном состоянии, которое выражается в определенном сочетании показателей средовой и организменной составляющих водной экосистемы. Конкретному состоянию водной экосистемы соответствует определенный уровень способности к самоочищению, который может быть охарактеризован сочетанием показателей среды и биоты, а набор и величины их могут быть выражены в интервалах значений [11].

Способность экосистем поверхностных водных объектов к самоочищению эксплуатируется при антропогенной деятельности как механизм утилизации сточных вод. Поэтому возникает необходимость адекватно ее оценивать, что невозможно сделать без экосистемного подхода к водному объекту. На способность к самоочищению, а, следовательно, на состояние водной экосистемы, влияет ряд факторов как внешнего воздействия на водный объект, так и внутренних закономерностей саморазвития его водной экосистемы [11].

Формирование водной экосистемы происходит под действием и в результате процессов, протекающих на бассейне водосбора и на протяжении всего русла реки. Даже весьма подробный химический анализ, оценивая среду обитания, лишь косвенно может указывать факторы, оказывающие влияние на экосистему или являющиеся результатом ее жизнедеятельности. С помощью химических оценок можно определить трофическую базу для развития биоты - формы азота и фосфора, растворенные в воде. Таким образом, мы видим, что для оценки состояния водной экосистемы необходимо знать не только ее гидрохимические параметры, но и параметры ее биотической части [11].

При оценке состояния биоты *на экосистемном уровне* наряду с интегральными показателями, характеризующими экосистему, как самостоятельную единицу иерархической структуры всего живого, довольно часто приходится выделять показатели функциональных элементов, разделяя ее биотическую часть на составные части, такие как продуценты, консументы и редуценты, и, нередко, в каждой из них отыскивать наиболее чувствительные звенья, по которым можно судить о состоянии всей экосистемы [24].

На *популяционно-биоценологическом уровне* для характеристики состояния автотрофного звена экосистемы используются как структурные, так и функциональные показатели. К структурным показателям, характеризующим состояние продуцентов, относятся: число особей, список видов в сообществе, биотическое разнообразие, содержание фотосинтетических пигментов, биомасса и их изменчивость в пространстве и во времени [11].

Биотическая часть экосистемы организована в виде трофической пирамиды, основу которой составляют первичные продуценты. В водной экосистеме это водоросли, которые

дают органическое вещество для формирования второго трофического уровня - беспозвоночных консументов, которые, в свою очередь, являются базисом для рыб - верхнего звена трофической пирамиды в водных объектах [8].

Оценка состояния первого трофического звена возможна с помощью показателей численности и биомассы, биохимического потребления кислорода (БПК), насыщенности воды кислородом, прозрачности воды и связанной с прозрачностью первичной продукции, а также индекса сапробности. Эти показатели меняются в экосистеме поверхностных вод закономерно и могут быть проклассифицированы по системе В. Сладечека [47]. Однако монотонность изменения гидрохимических показателей с ростом классности воды не дает возможности выделить какие-либо критические уровни, значения, интервалы, что подтверждает необходимость привлечения показателей, более тесно связанных с биотической частью экосистемы [11].

Одним из компонентов в оценке состояния водных экосистем является совокупность организмов и результатов проявления их жизнедеятельности. Качество вод по обитающим в них организмам определяется уже в течение сотни лет и метод носит название - *биоиндикация*. Его следует отличать от биотестирования, как метода оценки реакции тест-организма на среду, в которую его поместили [11].

Систем биоиндикации разработано множество (основные будут рассмотрены ниже). С помощью этого метода оцениваются различные характеристики водных экосистем. Наиболее широка применимость его для оценки качества вод, но индицируются также тяжелые металлы по тератологии, мутагенность, токсичность, типологические уровни систем, местообитание и специфическое загрязнение. Используется индикация к виду пользования, интенсивности самоочищения от пестицидов и от меди, проводится палеоиндикация температурных условий и химизма вод. Определяется по индикаторам санитарно-биологическое состояние водоема, и даже оценка водных экосистем, которая при разборе оказывается оценкой качества воды, индикация рекомендуется как основа для контроля качества среды [11].

Состояние водной экосистемы определяется по соотношению экологического и метаболического прогресса и/или регресса. Видно, что применяемые для оценок четыре комбинации этих показателей охватывают экосистемы в максимальных пределах показателей. Эта система дает только оценки в качественных классах "хорошо" - "плохо", но не дает возможности установить какие либо пределы или конкретные пороговые величины показателей водной экосистемы, которые можно было бы использовать для разработки новой системы оценки состояния [11].

Отечественные и зарубежные исследователи отмечают необходимость создания единой системы как биоиндикации, так и экосистемных оценок на основе комплексного подхода, причем в последнее время все больший акцент ставится на значимость биотической части экосистемы и закономерностей ее функционирования в целом [11].

Из всего сказанного можно заключить, что пока не выработано достаточно четкого и схематичного представления о едином механизме функционирования водной экосистемы, а для оценки ее состояния необходимо понимание функционирования экосистемы в целом как взаимозависимого единства среды и обитающей в ней биоты и выявление тех показателей, которые изменяются не монотонно и позволяют определить емкость экосистемы и пределы ее восстановительных способностей [11].

Существуют способы оценки способности вод к нейтрализации и/или снижению токсического действия *на основе данных по химическому составу*. Например, комплексообразующая способность вод (КСВ) является важным фактором, определяющим буферную емкость водных экосистем по отношению к токсичным металлам. Под КСВ подразумевается интегральный показатель, характеризующий способность поверхностных вод связывать ионы металлов. Значение комплексообразующей способности зависит от химического состава вод и суммарного содержания органических и неорганических лигандов, а также коллоидов различной природы, способных образовывать с ТМ устойчивые комплексные соединения [23,35]. Этот показатель может использоваться для оценки способности водных объектов, испытывающих возрастающую антропогенную нагрузку, к инаktivации тяжелых металлов.

Наиболее значимый вклад в снижение токсичности тяжелых металлов вносит гумусовое вещество (ГВ) природных вод, состоящее преимущественно из гуминовых (ГК) и фульвокислот (ФК). Их концентрация в поверхностных водах находится в интервале 1-100 мг/л [15,22] т.е. колеблется в очень широких пределах. В значительно меньших концентрациях могут присутствовать экзометаболические водной биоты (полифенолы, белки, углеводы, полипептиды, аминокислоты и другие специфические органические вещества) [46].

Способность водной среды к нейтрализации кислотообразующих оксидов определяется содержанием гидрокарбонат-ионов и во многом зависит от рН водной среды. Потенциально уязвимыми объектами считаются водоемы с повышенной кислотностью (ниже 6-5,5 ед. рН), с низким содержанием гидрокарбонат-ионов (менее 100 мкмоль/дм³)[26].

Выводы: На основе анализа литературных данных выяснено, что основными загрязняющими веществами, сопутствующими добыче нефти и газа, являются кислотообразующие оксиды, тяжелые металлы, нефтяные углеводороды и другие органические вещества. Для оценки устойчивости водных объектов в отношении поступления этих веществ необходимо определение рН, ионного состава, содержания органических веществ, микроэлементов и основных органических токсикантов.

ГЛАВА 2 МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОД

2.1 Физико-географическая характеристика Нефтеюганского района

Административно-географическое положение

В административном отношении территория района входит в состав Нефтеюганского района Ханты-Мансийского автономного округа – Югра [29].

Территория района расположена на землях Лесного фонда (Куть-Яхское и ПывъЯхское лесничества Салымского лесхоза) [29].

Ближайший населенный пункт – п. Салым находится на расстоянии около 11,0 км на восток от восточной границы месторождения [29].

Геолого-геоморфологические особенности

В геоморфологическом отношении территория Верхне-Салымского месторождения находится в области ступенчатых озерноаллювиальных равнин. На территории Верхне-Салымского месторождения выделяются 4 геоморфологических уровня: среднечетвертичная озерно-аллювиальная («лагунная») равнина (пятый надпойменный ярус), средне-позднечетвертичная озерно-аллювиальная терраса (четвертый надпойменный ярус), позднечетвертичная аллювиальная терраса (третий надпойменный ярус), современная пойменная терраса. Поверхность террас плоская, местами пологоволнистая, залесенная, на отдельных участках интенсивно расчленена овражнобалочной сетью, заболочена [10].

Среднечетвертичная озерно-аллювиальная («лагунная») равнина (пятый надпойменный ярус) занимает наиболее высокие участки междуречий с абсолютными отметками высот 85-88 м. Встречается фрагментарно, в виде изолированных денудационных останцов в левобережной части р. Вандрас. В правобережной части равнина представлена единым массивом (до 3-4 км в поперечнике), ориентированным с юго-запада на северо-восток [28].

Верхнечетвертичные и среднечетвертичные озерно-аллювиальные отложения III и IV надпойменных террас до 4,0 м представлены суглинками от полутвердой до мягкопластичной консистенции. Глубина залегания грунтовых вод колеблется от 0,6 до 10,8 м [28].

Позднечетвертичная аллювиальная терраса (третий надпойменный ярус) образует плоские днища долин рек Лев, Вандрас, Пывьях и их многочисленных притоков. Долины имеют ящикообразный поперечный профиль, четко выраженные борта, плоские значительно заболоченные днища. Третья надпойменная терраса имеет аккумулятивное

строение. На основании залегает маломощный аллювий в виде мелкого песка, чаще глинистые до 2-3м [28].

Современная пойменная терраса выделяется в долине р. Вандрас, на участках развития меандров. В долинах мелких водотоков пойма практически отсутствует. Мощность пойменных осадков не превышает 4-5 м. Они представлены алеврито-глинистыми песками с прослоями суглинков [28].

Болота в районе прохождения напорного нефтепровода на УПН Западно-Салымского месторождения и в районе проектируемого куста скважин №6 занимают обширные площади и в большей части представлены верховыми сосново-кустарничково-сфагновыми, гряdomочажинными и мочажинно-грядовыми типами [28].

Отложения болот выражены торфами сфагнового, меньше шейхцериево-пушицевого и гипнового состава сильной степени разложения темно-коричневого цвета. Мощность торфа колеблется в пределах от 0,5 до 9,0 м. Минеральное дно болот выполнено суглинками от мягкопластичной до текучепластичной консистенции. В верхней части разреза суглинки заторфованы [28].

Уровень болотных вод колеблется в пределах 0,0-0,6 м в зависимости от времени года и микроландшафта [28].

Суходольные участки приурочены к местным водоразделам, дренированным склонам долин рек и ручьев. Уровень грунтовых вод изменяется от 0,6 м до 10,8 м [28].

Грунты промерзают в пределах водоразделов, сложенных суглинками разной консистенции, на 2-3 метра, торф – на 1 метр [28].

К неблагоприятным инженерногеологическим процессам и явлениям на территории Верхне-Салымского месторождения относятся интенсивное заболачивание территории, эрозионное разрушение берегов рек, оползневые и эрозионно-аккумулятивные процессы, пучение грунтов [28].

Район находится в зоне избыточного увлажнения, с низкой испаряемостью, где уклоны поверхности незначительны и в целом слабая расчлененность территории, что способствует процессу заболачивания [41].

Эрозионные процессы различной интенсивности проявляются, прежде всего, по берегам рек и ручьев. Формирования отмелей, кос и других форм переотложения песчано-глинистых грунтов не наблюдается [28].

Климатическая характеристика

Климат района резко континентальный. Зима суровая, холодная, продолжительная. Лето короткое, теплое. Короткие переходные сезоны – осень и весна. Заморозки поздние весенние, ранние осенние. Резкие колебания температуры в течение года и даже суток [9].

Среднегодовая температура воздуха $-2,4^{\circ}\text{C}$, среднемесячная температура воздуха января $-21,4^{\circ}\text{C}$, а июля $+17^{\circ}\text{C}$. Абсолютный минимум температуры приходится на декабрь -56°C , абсолютный максимум – на июнь-июль $+35^{\circ}\text{C}$. Продолжительность безморозного периода – 92 дня, устойчивых морозов 152 дня [10].

Интенсивное выпадение осадков, особенно в теплый период с апреля по октябрь около 500 мм, а в холодный период с ноября по март – 200 мм. Годовая сумма осадков 685 мм. Следовательно, наблюдается высокая влажность воздуха, средняя относительная влажность меняется от 66% до 85% [30].

Снежный покров достигал максимума на отметке 82 см. Сохраняется снежный покров 195 дней. В течение года преобладают ветры южного, юго-западного, а в июле – северного направлений. Средняя годовая скорость ветра 3,0 м/с [30].

Наибольшая скорость ветра 5% обеспеченности – 28 м/с [10].

Гололедноизморозные явления наблюдается с октября по май. Повторяемость их колеблется в больших пределах. В среднем за год наблюдается 2 дня с гололедом и 16 дней с изморозью [30].

Общая гидрографическая характеристика

В физико-географическом отношении район находится на Среднеобской низменности Западно-Сибирской равнины в междуречье Иртыша и Большого Салыма [34].

В административном отношении большая часть района изысканий находится в пределах Нефтеюганского района Ханты-Мансийского автономного округа – Югра. Ближайший населенный пункт – пос. Салым [10].

Район расположен в северной части подзоны южной тайги Западно-Сибирской низменности [16].

Территория представляет собой слаборасчлененную, заболоченную, озерно-аллювиальную равнину. Абсолютные отметки поверхности варьируют в пределах от 52 м до 81 м [30].

Гидрографическая сеть территории приурочена среднему течению левобережного бассейна р. Большой Салым и представлена следующими водотоками: Пывьях, Вандрас (левые притоки р. Большой Салым), Ведедыпхур (левый приток р. Эне-Термотьёга), Невдарьёга (левый приток р. Вандрас), Кингьях и Тыутьях (левыми притоками р. Пывьях), и двумя ручьями без названия (правыми притоками р. Вандрас) [16].

Все водотоки берут начало в болотных массивах и являются путями стока избыточных вод, сконцентрированных в толще болота. Особенностью рек является большая извилистость и захламленность русла [30].

Описание водотоков приводится ниже.

Река Пывъях впадает слева в р. Большой Салым на 268 км. Общая протяжённость водотока 121,8 км [31]. Пересекается трассами нефтегазосборных сетей и линий электропередач соответственно на 62-61,6 км от истока [30].

Долина реки близка к трапецеидальной, местами неясно выражена, заболоченная. Высота бортов долины на рассматриваемых участках колеблется от 6 до 22 м. Дно долины пойменное, сложено супесчаными и суглинистыми грунтами [30].

Берега, в основном, сильно задернованы, русловые деформационные процессы слабо выражены (за исключением крутых излучин, где имеют место незначительные оползневые явления) [30].

Пойма реки на участках пересечения рассматриваемых трасс двусторонняя, асимметричная, ширина её изменяется от 615 до 700 м [30].

Русло реки сильно извилистое, неразветвленное, на расстоянии 2-4 м от уреза заросшее травой. В русле и на залесенной пойме встречаются мощные завалы леса. Ширина реки в летнюю межень составляет 10-12 м, глубина - от 1,0 до 1,50 м [30].

Скорость течения в русле составляет 0,2-0,4 м/с [31].

Река Вандрас впадает слева в р. Большой Салым на 324 км от устья. Общая длина реки 113 км. [31]. Пересекается трассами коммуникаций на 25,9 км от истока и на 34,6 км от истока [30].

Долина реки трапецеидальной формы, склоны долины крутые, покрытые смешанным лесом с преобладанием хвойных пород (сосна, ель, пихта, кедр). Дно долины врезанное, сложено глинисто-песчаными грунтами [30].

Пойма реки на участках пересечения двусторонняя, асимметричная, ширина её изменяется от 400 м до 785 м, местами заболочена, покрыта берёзой и елью [30].

Русло реки извилистое, с завалами стволов деревьев, шириной в межень 8-10-12 м при максимальной глубине 0,8-1,2 м. Дно реки вязкое, илистое, супесчаное с примесью органических веществ. [30].

Скорости течения воды в русле составляют от 0,2 до 0,4 м/с [31].

Русловые деформации на реке слабо выражены. Исключение составляют участки берег на крутых излучинах, где имеют место небольшие оползневые явления. Берега задернованы [30].

Река Ведедыпхур является левобережным притоком р. Эне-Термотьёга и впадает в неё на 9,7 км от устья. Общая длина реки 14,8 км [31]. Пересекается трассами коммуникаций на 11,8 и 12,05 км от устья. Берет начало из обширного болотного массива расположенного на северо-западном участке района изысканий [30].

Питание реки в истоке происходит за счет стока избыточных болотных вод [30].

Долина реки слабо выражена. Высота береговой бровки 0,5-0,7 м. Ширина поймы по трассам изменяется от 340 до 375 м [30].

Основная часть русла реки протекает по болотистой местности с редколесьем, только в устьевой части водоток пересекает лесной массив. В верхнем течении водоток представлен сильно заросшим водной растительностью ручьем, шириной до 1,0 м и глубиной 0,6-0,7 м [30].

На участке пересечения трассами нефтегазосборных сетей сток р. Ведедыпхур осуществляется по погребённому в торфяной толще руслу, то есть наблюдается так называемый внутризалежный сток. Иногда сток выходит на поверхность в виде цепочек «окон» открытой воды, шириной 1-2 м и глубиной 0,2-0,5 м [30].

Река Невдарьёга является правобережным притоком р. Вандрас и впадает в неё на 75 км от устья. Общая длина реки составляет 35,9 км [31]. Трассами трубопровода пересекается в нижнем течении, на 7 км от устья [30].

Долина реки по поперечному профилю ближе к трапецеидальной, местами неясно выражена [30].

Пойма реки неярко выражена (шириной по трассам 440-450 м), заболочена, покрыта редким кустарником, березой и елью [30].

Русло реки средней извилистости, неразветвлённое, в створе пересечения трасс коммуникаций озеровидное, шириной в межень 510 м, глубиной до 0,8 м [30].

Русло реки средней извилистости, неразветвлённое, в створе пересечения трасс коммуникаций озеровидное, шириной в межень 510 м, глубиной до 0,8 м [30].

Река Кингьях, протяжённостью 12,1 км, впадает слева в р. Пывьях на 67,8 км от устья [31]. Пересекается трассами коммуникаций на 3,503,70 км от устья [30].

Долина реки Кингьях трапецеидальной формы, склоны крутые, с смешанным лесом с преобладанием хвойных пород (сосна, ель, пихта). Дно долины врезанное, сложено глинисто-песчаными грунтами [30].

Пойма реки неярко выражена (шириной от 210 до 315 м), заболочена, покрыта редким кустарником, березой и елью [30].

Русло реки средней извилистости, с завалами стволов деревьев, берега пологие. Скорость течения в русле составляет до 0,1 м/с. Высота берегов 0,50–0,80 м, слаборазмываемые, задернованы. Русло реки неглубокое (0,80-1,50 м), шириной до 3-5 м. Дно реки илистое [30].

Река Тыутьях является левобережным притоком р. Пывьях и впадает в неё на 58,3 км от устья. Общая длина реки составляет 10,8 км [31].

Пересекается линией электропередач на 9,50 и 10,60 км от устья [30].

Долина реки неясно выражена, оба склона долины крутые, покрытые смешанным лесом с преобладанием хвойных пород (сосна, ель, пихта). Дно долины врезанное, сложено глинистопесчаными грунтами [30].

Пойма реки неярко выражена (шириной 105-140 м), заболочена, покрыта редким кустарником, березой и елью [30].

Русло реки извилистое, с завалами стволов деревьев, берега пологие. Высота берегов 0,50– 0,80 м, слаборазмываемые, задернованы. Русло реки неглубокое (0,40-0,60 м), шириной 1-2 м. Дно реки илистое [30].

Почвенный покров

Формирование разных типов почв района обуславливалось взаимодействием следующих факторов:

- особенностями мезорельефа;
- механического состава почвообразующих пород;
- характером пойменного режима;
- условиями увлажнения;
- современными процессами заболачивания.

Почвенный покров территории района является сложным и мозаичным и представлен большей частью сочетаниями и комплексами почв.

Основными почвообразующими породами являются аллювиальные, озерно-аллювиальные отложения средне-верхнечетвертичного возраста, представленные суглинками различной консистенции [20].

Группа автоморфных почв. На суглинистых отложениях в условиях максимальной дренированности формируются подзолистые глубинно-глееватые почвы [40].

Профиль почв: горизонт A0 – рыхлая оторфованная подстилка мощностью 4-15 см; A0-A1 – грубогумусный седовато-серый горизонт мощностью 3-5 см; A2gh – светло-коричневатосерый горизонт, бесструктурный или с непрочнокомковатой структурой, мощность 3-7 см; Bg – холодных серовато-бурых тонов, структура плохо выражена [28].

Для почв характерна кислая и сильнокислая реакция, особенно в верхней части профиля (pH_{сол.} 3-3,2). Степень насыщенности основаниями составляет 45%. Содержание гумуса (фульватного типа) в горизонте A2gh – 2-4% [28].

Группа гидроморфных почв. На слабодренированных плоских поверхностях водоразделов под заболоченными темнохвойно-мелколиственными и сосновыми лесами формируются торфянисто-подзолисто-глеевые почвы [40].

Профиль почв представлен из торфянистого горизонта А0 мощностью 5-12 см и оглеенной минеральной массы, слабодифференцированной на генетические горизонты. Под торфянистым горизонтом А0 лежит осветленный седоватосветло-бурый, с пятнами оглеения горизонт А2g; под ним – горизонт Вg, сизо-бурый, ржаво-бурый, переменного окислительно-восстановительного режима [28].

Почвы кислые и сильнокислые, малогумусные, в составе органического вещества преобладают фульвокислоты. Степень насыщенности почв основаниями низкая– 35% [28].

Группа болотных почв. На слабодренированных водораздельных пространствах, идет процесс торфонакопления. Основные условия его развития – продолжительный и теплый летний период; продолжительный застой атмосферных осадков в почвенной толще; близкое залегание уровня грунтовых вод к поверхности. [17].

По характеру увлажнения, растительности и положению в рельефе выделяются следующие типы болотных почв: болотные верховые, низинные и переходные. [17].

Торфяные олиготрофные (верховые торфяники), характеризуются наличием олиготрофной торфяной толщи мощностью более 50 см, залегающей под очесом мхов (мощность 10-20 см). Торфяная толща состоит преимущественно из сфагновых мхов. Нижней границей торфяной почвы принято считать глубину, до которой в летний период могут опускаться почвенные воды (30-60 см). Ниже залегает торфорганическая почвообразующая порода [40]. Для болотных верховых почв характерны высокая кислотность (рНсол. 2,5-3,8), зольность торфа низкая – 2,4-6,5 %, степень разложения до 20-25 %. Насыщенность почв основаниями 10-30 %. [28].

Болотные эутрофные (низинные) почвы формируются в глубоких депрессиях рельефа под эутрофной и мезотрофной растительностью (осоки, зеленые мхи, кустарники), питаются в той или иной степени минерализованными грунтовыми водами. Для морфологического профиля почв характерен темно-бурый цвет торфяных горизонтов, зольность торфяных горизонтов превышает 10 - 12%. Подстилаются торфа минеральной глеевой толщей, которая в верхней части профиля часто бывает окрашена потечным органическим веществом. Реакция слабокислая, обеспеченность питательными веществами по сравнению с верховыми почвами лучшая. Степень насыщенности почв основаниями 65% [40].

Болотные мезотрофные (переходные) почвы по характеру питания и растительности занимают промежуточное положение между верховыми и низинными болотными почвами [40]. Для болотно – озерковых и грядомочажинных болотных комплексов характерен почвенный комплекс из торфяных почв [28].

Почвенный покров верховых сфагновокустарничковых болот, облесенных угнетенной сосной, представлен торфяными почвами на верховых торфяниках, торфянисто-глеевыми почвами [28].

Аллювиальные почвы. Под смешанными хвойно-мелколиственными лесами высоких участков пойм малых рек, редко и ограниченно затапливаемых паводковыми водами, формируются аллювиальные дерновые оподзоленные почвы. Почвы имеют кислую и слабокислую реакцию, не насыщены основаниями, содержание гумуса варьирует, характерен резкий спад его количества с глубиной [40].

Аллювиальные дерновые глеевые почвы формируются под, мелколиственно-хвойными травяно-болотными лесами на аллювиальных суглинистых, меньше супесчано-суглинистых отложениях. Профиль почв складывается тремя горизонтами: гумусовым сероватосизого цвета с непрочной комковатой структурой, переходным АС горизонтом со слабой серватой окраской и нижележащей интенсивно-оглеенной материнской породой. Реакция среды слабокислая, ближе к нейтральной, содержание гумуса до 2-4% [28].

Аллювиальные торфяно-глеевые почвы имеют ограниченное распространение в заболоченных долинах рек и старичных низинах. Почвы данного типа диагностируются по наличию торфяно-минерального и глеевого горизонтов [28].

Растительность

Территория района относится к южной полосе среднетаежной подзоны Западной Сибири (Салым - Юганский округ верховых болот и кедровососновых и темнохвойно-березовых зеленомошных и заболоченных моховых лесов [33].

Растительный покров представлен сочетанием лесных, болотных и пойменных типов [33].

Лесная растительность. Представлена елово-кедровыми с пихтой мелкотравно – зеленомошно - кустарничковыми лесами [28].

Темнохвойные леса. Кедрово-еловые и елово-кедровые леса мелкотравно-кустарничковозеленомошной группы составляют основу коренных лесов и отличаются наибольшей производительностью (3-4 классы бонитета). Основные лесообразующие породы - кедр (*Pinus sibirica*), ель (*Picea obovata*). Доля темнохвойных лесов (исключая пойменные леса) от общей площади района составляет около 17,3 % [28].

Деревья верхнего полога достигают высоты 17-24 м, а нижнего 16-20 м. Сомкнутость древостоя 0,6. Невысокая полнота кедровников объясняется, в первую очередь, продолжающейся фазой смены пород, когда кедр, внедрившись в верхний полог лиственных пород, не достиг своего максимального прироста. В древостое характерно присутствие пихты. Примесь березы и осины в плакорных лесах – послепожарного

происхождения. В подросте ель и кедр примерно в равных соотношениях (6К4Е), участие пихты неустойчиво. В некоторых участках леса ее подрост очень обилен, хотя сохранность и выживаемость пихты низкая. Подлесок развит слабо [28].

В травяно-кустарничковом ярусе преобладают бореальные кустарнички – брусника, черника, линнея северная, образующие самостоятельные синузии. Характерной особенностью является присутствие группы таежного мелкотравья – кислицы, майника двулистного. Из других травянистых видов следует отметить большое участие плаунов папоротников, хвощей. Общее покрытие травяно-кустарничкового яруса достигает 60-80%. Все микропонижения заняты сфагновыми мхами. Напочвенному покрову свойственна сильная мозаичность, вызванная неоднородностью экотопов [28].

Наиболее характерны сообщества еловокедровых лесов с кустарничково-осоководолгомошным, багульниково-кустарничководолгомошным, багульниково-хвощеводолгомошным покровом. Древесный ярус мало отличается от суходольных лесов. Высота древостоя составляет 15-18 м, диаметры стволов – 18-32 см. В подросте также преобладает кедр, ели меньше, единично встречается сосна. Много сухостоя ели и пихты (1.5-2 м). В редком подлеске рябина, ива, местами можжевельник. В травянокустарничковом ярусе заболоченных лесов прослеживается внедрение болотных видов. Снижается обилие и жизненность черники и брусники. Выделяются синузии с доминированием хвоща и осоки и долгомошно - сфагновым покровом. Всюду равномерно распространен багульник (*Ledum palustre* L.). В микропонижениях формируются болотные ценозы с *Carex globularis* и мезотрофными сфагновыми мхами с единичным участием пушицы (*Eriophorum vaginatum* L.). На приствольных повышениях и валежнике группируются виды суходольных лесов – линнея, седмичник (*Trientalis europaea* L.), майник (*Maianthemum bifolium* (L.) с зелеными мхами. Моховой покров на выровненных участках леса состоит из мезофитных видов (*Polytrichum commune*, *Spfgnum warnstorffii*, *Sph. robustum*, *Shp. Girgensohnii*), по понижениям из олиготрофных сфагновых мхов (*Sph. angustifolium*, *Sph. magellanicum*) и куртинок *Sph. fuscum* на вершинах кочек [28].

Сосновые леса не имеют широкого распространения на территории района, занимают около 11,7 % от общей площади района [28].

Сосновые леса зеленомошной группы занимают повышенные элементы рельефа, средние и нижние части склонов водоразделов, будучи приуроченными к свежим и влажным песчаным, супесчаным и легкосуглинистым почвам. Насаждения отличаются смешанным составом и сложным строением. Участие других пород в составе зависит от возраста: в молодых сосновых насаждениях лиственные породы встречаются чаще, чем в приспевающих и спелых насаждениях [28].

Высота древостоя составляет от 17 до 20 м. Диаметры стволов 20-32 см. Полнота насаждений 0,5-0,6. Подрост составлен кедром, елью, частично сосной. Подлесок редкий из шиповника, рябины сибирской [28].

В травяно-кустарничковом ярусе доминируют обычные виды темнохвойных лесов – брусника, черника, линнея северная, периодически встречаются плауны (*Lycopodium annotinum* L.) ожика волосистая (*Luzula pilosa* (L.)) [28].

Избыточно увлажненные участки водоразделов (переходные полосы лес-болото) заняты сосновыми, сосново-березовыми кустарничково-сфагновыми и осоково-сфагновыми лесами Va, Vб бонитета [28].

Данные леса получили наибольшее развитие среди сосновых лесов территории района. Подлесок отсутствует [28].

Мелколиственные леса. Береза (*Betula pubescens*, *B. pendula*) участвует практически во всех лесных насаждениях территории района в виде примеси и чаще всего образует вторичные древостои на участках, подвергшихся неоднократному воздействию пожаров, и на вырубках [33].

На повышенных элементах рельефа, приуроченных к свежим и влажным суглинистым почвам, распространение получили березовоеловые, березово - кедрово - еловые с примесью осины, сосны и пихты зеленомошно – мелкотравные и зеленомошно - кустарничковые леса. Береза и осина в возрасте от 80 до 120 лет могут образовывать верхний ярус до 25 м высотой. Разновозрастные группы подроста образуют кедр, ель, пихта. Подрост лиственных пород погибает, едва достигнув 0.5 м высоты от недостаточной освещенности в этих лесах[28].

В редком подлеске постоянно присутствуют рябина, шиповник, ива козья, реже – можжевельник.

Травяно-кустарничковый покров в основном сходен с коренными лесами. При сохранении доминирующей роли брусники и мелкотравья изменяется степень покрытия мхами (40-60 %), обилие и встречаемость травянистых видов растений [28].

С увеличением увлажнения, на пониженных плоских поверхностях надпойменных террас формируются березово – еловые и долгомошно – хвощовые и кустарничково-сфагновые леса. Леса преимущественно V бонитета. Высота деревьев 18-21 м, диаметр стволов 20-28 см. Подрост состоит из кедра и ели. В травянокустарничковом покрове заболоченных лесов ясно прослеживается внедрение болотных видов. Сохраняется высокое обилие брусники и черники, но жизненное состояние их резко ухудшается (низкорослы, слабо плодоносят). Четко выделяются синузии с доминированием осоки шаровидной, хвоща лесного и долгомошно - сфагновым покровом. Всюду равномерно

распространен багульник. Моховой покров состоит из сфагновых мхов (*Sphagnum robustum*, *Sph. fallax*, *Sph. magellanicum*, *Sph. fuscum*) [28].

Растительность долин рек. Хорошо дренированные участки пойм рек Вандрас, Пывьях, Лев и их притоков заняты кедрово-елово-березовыми и елово-кедрово-березовыми с участием пихты мелкотравнозеленомошными лесами (экосистемы №№ ба, бб). Высота деревьев достигает 18 –22 м, диаметры стволов 20 - 26 см. Подрост составлен кедром, елью. Подлесок хорошо развит и представлен рябиной, шиповником, черной смородиной (*Ribes nigrum*). Травяно-кустарничковый ярус составляет таежное мелкотравье (кислица *Oxalis acetosella* L.), подмаренник (), борец (*Aconitum septentrionale*), недоселка копьевидная (*Sacalia hastata* L.), золотарник (*Solidago virgaurea* L.) и др.) и кустарнички – брусника, черника и багульник. В напочвенном покрове преобладают зеленые мхи, проективное покрытие которых колеблется от 40 до 80 % [28].

В долинах малых рек значительное распространение получили березово-кедровоеловые травяно-болотные леса (экосистема № бг). Высота древостоя 15-18 м, диаметры стволов 20-32 см. Данные леса имеют 4-5 классы бонитета. Подрост представлен кедром и елью. Густой травяной покров составлен вейниками (*Calamagrostis langsdorffii* (Link.), *Calamagrostis obtusata* Trin), чемерицей (*Veratrum lobelianum*), хвощами (*Equisetum pratense* L.), подмаренником (*Galium boreale* L.), кочедыжником (*Athyrium filixfemina* (L.)). Моховой покров отмечается по повышенным участком и составлен из зеленых мхов [28].

Слабовыраженные долины малых рек и внутриболотных водотоков заняты переходными и низинными болотами (экосистема № бе) с доминированием по основным поверхностям травяно – гипново- сфагновых сообществ, составленных осоками (*Carex acuta*, *C. aquatilis*, *C. rostrata*, *C. vesicaria*), вахтой (*Menyanthes trifoliata* L.), кипреем болотным (*Epilobium palustre*), шейхцерией (*Scheuchzeria palustris*.) и влаголюбивыми гипновыми и сфагновыми мхами [28].

2.2 Отбор проб и определение химического состава вод

Пробы для проведения анализа отобраны на Верхне-Салымском лицензионном участке в разных точках рек: Большой Салым, Немич, Варданас, Манчем-ега, Лев, Самсоновская в октябре 2017 года (время отбора проб обусловлено тем, что в октябре химический состав вод водоемов более устойчивый и соответственно дает более адекватную оценку водоемов). Координаты мест отбора проб: от 59,4 северной широты 70,4 восточной долготы до 60,7 северной широты 71,6 восточной долготы. В качестве контрольной (чистой) была выбрана река, которая находится далеко от потенциальных

источников антропогенного воздействия. Это река Немич, расположенная на юге Верхне-Салымского месторождения. Река Немич схожа по гидрометрическим характеристикам (длина реки, площадь водосбора) с реками Лев и Самсоновская, и протекает в схожих климатических условиях, что делает возможным корректное сравнение состава водной среды этих объектов. На рисунке 1 изображено расположение Верхне-Салымского ЛУ и отмечены места отбора проб.

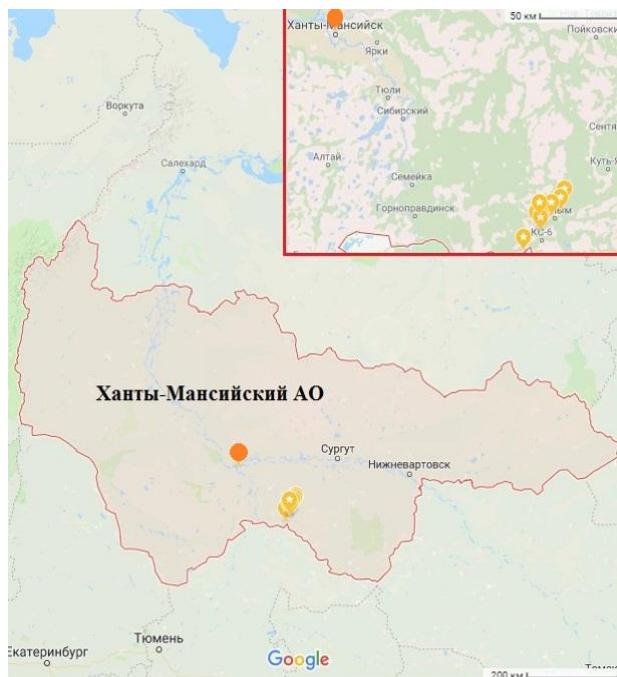


Рисунок 1 – Расположение Верхне-Салымского ЛУ (составлено автором на основе Google Maps)

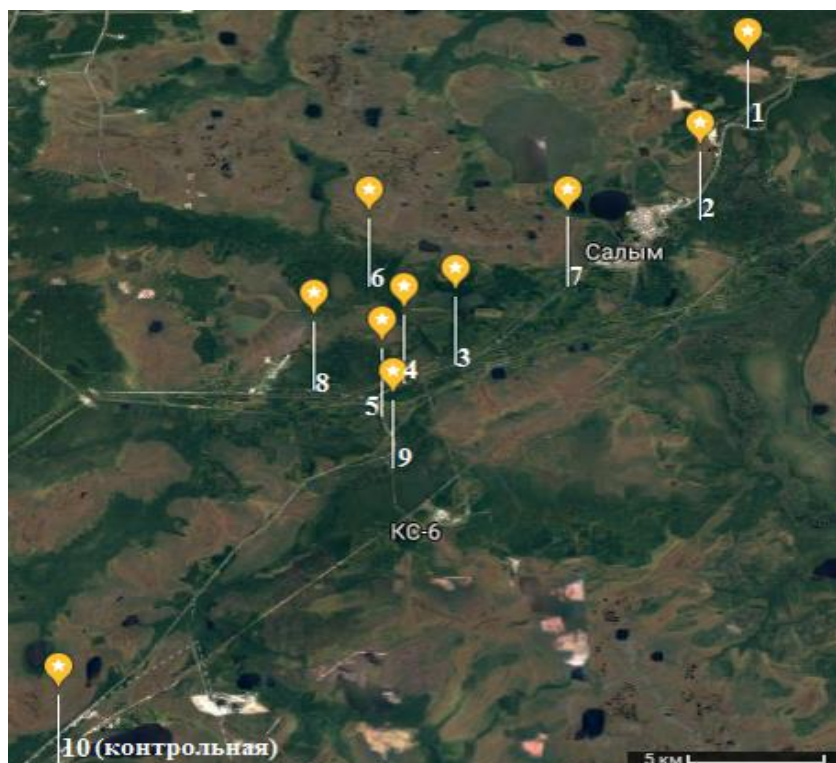


Рисунок 2 – Места отбора проб (составлено автором на основе Google Maps)

Пробы воды отбирались в полиэтиленовые бутылки емкостью 1,5 дм³. Предварительно бутылки были тщательно очищены в лаборатории. При отборе проб воды бутылки ополаскивали дважды природной водой, затем помещали в темные контейнеры и в сжатые сроки транспортировали в лабораторию. В пробах были определены следующие показатели:

- рН – методом прямой потенциометрии, «Анион 4100» со стеклянным электродом;
- удельная электропроводность (УЭП) – кондуктометрический метод анализа;
- цветность – методом спектрофотометрии, при длине волны $\lambda = 380$ нм;
- содержание общего углерода ($C_{\text{общ}}$), органического углерода ($C_{\text{орг}}$), неорганического углерода ($C_{\text{мин}}$) определяли методом элементного анализа с использованием прибора Vario TOC, Elementar;
- содержание нефтяных углеводородов (НУ) – методом ИК-спектрофотометрии с применением концентратомеров серии КН. Метод заключается в выделении эмульгированных и растворенных нефтяных компонентов из воды экстракцией четыреххлористым углеродом, хроматографическом отделении НУ от сопутствующих органических соединений других классов на колонке, заполненной оксидом алюминия, и количественном их определении по интенсивности поглощения С-Н связей в инфракрасной области спектра (2930 ± 70) см⁻¹.

2.3 Определение ионного состава

Определение катионного состава методом капиллярного электрофореза

Определение катионов проводится на основе ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000 «Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций катионов калия, натрия, лития, магния, кальция, аммония, стронция, бария в пробах питьевых, природных, сточных вод методом капиллярного электрофореза с использованием системы капиллярного электрофореза "Капель"». [3]

Метод капиллярного электрофореза для определения массовой концентрации катионов основан на их миграции и разделении под действием электрического поля вследствие их различной электрофоретической подвижности. Идентификацию и количественное определение анализируемых катионов проводят косвенным методом, регистрируя ультрафиолетовое поглощение при длине волны 254 нм. [3]

Диапазоны измерений массовой концентрации катионов калия, натрия, магния, стронция, бария и кальция, значения показателей точности измерений при коэффициенте охвата 2, допускаемые значения относительного расхождения результатов при двух

последовательных водах пробы и значения пределов воспроизводимости для $P=0,95$ приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Диапазоны измерений массовой концентрации катионов калия, натрия, магния, стронция, бария и кальция, значения показателей точности измерений при коэффициенте охвата 2, допускаемые значения относительного расхождения результатов при двух последовательных водах пробы и значения пределов воспроизводимости для $P=0,95$

Наименование катиона	Диапазон измерений массовой концентрации катиона, мг/дм ³	Расширенная относительная неопределённость измерений ($k=2$), $U_{отн}, \%$	Относительное значение допускаемого расхождения результатов, $d, \%$	Предел воспроизводимости, $R, \%$
Барий	От 0,1 до 0,25	25	25	35
	Св 0,25 до 2,0	20	17	28
	Св 2,0 до 5,0	14	14	20
Калий	От 0,5 до 2,0	20	17	28
	Св 2,0 до 10	14	14	20
	Св 10 до 2000	10	11	14
Кальций	От 0,1 до 0,25	20	17	28
	Св 0,25 до 2,0	14	14	20
	Св 2,0 до 5,0	10	11	14
Магний	От 0,25 до 2,0	20	17	28
	Св 2,0 до 10,0	14	14	20
	Св 10,0 до 1000	10	11	14
Натрий	От 0,5 до 2,0	20	17	28
	Св 2,0 до 10	14	14	20
	Св 10 до 2000	10	11	14
Стронций	От 0,25 до 2,0	20	17	28
	Св 2,0 до 10,0	14	14	20

Источник: составлено автором на основе ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000. «Количественный химический анализ вод»

Определение анионного состава методом ионной хроматографии

Определение выполняется на основе ПНД Ф 14.2:4.176-2000 «Количественный химический анализ вод. Методика определения содержания анионов (хлорид-, сульфат-, нитрат-, бромид- и йодид-ионов) в природных и питьевых водах методом ионной хроматографии» с использованием ионного хроматографа «Dionex ICS 2100». [5]

Измерения концентраций анионов выполняют методом ионной хроматографии с использованием кондуктометрического детектора. Принцип ионохроматографического определения состоит в том, что многокомпонентная смесь ионов разделяется на колонках, заполненных сорбентами, в структуре которых содержатся ионогенные группы, специфичные по отношению к катионам и анионам. Для выделения полезного сигнала на высоком электрохимическом фоне в методике применена подавительная

колонка. Градуировка ионохроматографической системы осуществляется с помощью ГСО растворов соответствующих ионов. [5]

Предметный алгоритм состоит в том, что содержание каждого компонента в анализируемой пробе определяют путем сравнения высоты (площади) пика аниона, содержащегося в градуировочном растворе с высотой (площадью) пика соответствующего аниона в анализируемой смеси и идентификацией по временам удерживания каждого аниона. [5]

Диапазоны измерения массовых концентраций нитрат-, нитрит-, сульфат-, фосфат-, фторид- и хлорид-ионов значения показателя точности, повторяемости измерений приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Диапазоны измерения массовых концентраций, значения показателя точности, повторяемости измерений.

Наименование катиона	Диапазон измерения	Показатель повторяемости (среднеквадратическое отклонение повторяемости) $\sigma_r, \%$	Показатель точности (границы погрешности при вероятности $P = 0,95$) $\pm \Delta, \%$
Нитрит-ионы	От 0,500 до 1000	10	15
Нитрат-ионы	От 1,60 до 1000	10	15
Хлорид-ионы	От 0,200 до 1000	10	15
Фторид-ионы	От 0,100 до 5,00	10	15
Сульфат-ионы	От 1,00 до 1000	10	15
Фосфат-ионы	От 1,00 до 1000	10	15

Источник: составлено автором на основе ПНД Ф 14.2:4.176-2000 «Количественный химический анализ вод»

2.4 Определение рН, электропроводности и цветности водной среды

Определение рН и электропроводности проводилось на основе РД 52.24.495-2005 «Водородный показатель и удельная электрическая проводимость вод», определение цветности проводилось на основе ГОСТ Р 52769 - 2007 «Вода. Методы определения цветности».

Измерение рН. Электроды ополаскивают дистиллированной водой, удаляют остатки воды фильтровальной бумагой, опускают в анализируемую пробу, включают мешалку и через 1 мин снимают показания прибора. Повторяют измерения через 1 мин. За величину рН принимают среднее арифметическое значение двух результатов, разность между которыми не превышает предела повторяемости r (0,06 ед. рН) [1].

Измерение электропроводности. Измерительную ячейку (датчик) ополаскивают дистиллированной водой, затем дважды анализируемой пробой воды и выполняют измерение удельной электрической проводимости в соответствии с инструкцией по эксплуатации используемого кондуктометра и ячейки. Если в приборе нет термокомпенсатора, ячейку с пробой воды выдерживают 10 мин. в термостате при 25 °С или измеряют действительную температуру пробы и вводят температурную поправку в результат измерения удельной электрической проводимости. Для каждой пробы проводят не менее двух параллельных измерений. [1]

При измерении удельной электрической проводимости вод, загрязненных склонными к адсорбции органическими соединениями (жиры, масла, синтетические поверхностно-активные вещества и т.п.), после каждого измерения электроды должны быть промыты органическим растворителем (ацетоном, хлороформом, спиртом) и дистиллированной водой. [1]

При соблюдении всех регламентируемых методикой условий проведения измерений характеристики погрешности результата измерения с вероятностью 0,95 не должны превышать значений, приведенных в таблице 3.

Таблица 3 - Диапазон измерений, значения характеристик погрешности и ее составляющих.

Диапазон измерения	Показатель повторяемости (среднеквадратическое отклонение повторяемости) σ_r	Показатель воспроизводимости (среднеквадратическое отклонение воспроизводимости) σ_R	Показатель точности (границы погрешности при вероятности $P = 0,95$) $\pm\Delta$
Водородный показатель, ед. рН:			
от 4 до 10 включ.	0,02	0,05	0,1
Удельная электрическая проводимость ν , мкСм/см:			
От 5 до 200 включ.	$0,02 \cdot \nu$	$0,05 \cdot \nu$	$0,10 \cdot \nu$
Св. 200 до 10000 включ.	$0,01 \cdot \nu$	$0,02 \cdot \nu$	$0,05 \cdot \nu$

Источник: составлено автором на основе РД 52.24.495-2005 «Водородный показатель и удельная электрическая проводимость вод» и ГОСТ Р52769 - 2007 «Вода. Методы определения цветности».

Значения показателя точности методики используют при оформлении результатов измерений, выдаваемых лабораторией.

Определение цветности. Цветность воды определяется сравнением с растворами специально приготовленной шкалы цветности и выражается в градусах цветности [2].

Растворы хром-кобальтовой шкалы цветности готовят в следующей последовательности: в мерные колбы вместимостью 100 см³ вносят ГСО цветности водных растворов объемом, значения которого приведены в таблице 4, и доводят до метки раствором серной кислоты.

Таблица 4 - В градусах цветности хром-кобальтовой шкалы.

Номинальное значение цветности водных растворов	Шкала цветности										
	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70
Объем аликвоты ГСО цветности водных растворов, см ³	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14

Источник: ГОСТ Р52769 - 2007 «Вода. Методы определения цветности».

Растворы шкалы цветности хранят в закрытой емкости в темном месте при температуре от 2°С до 8°С. Срок хранения растворов - не более 3 месяцев. [2]

Для установления градуировочной характеристики измеряют оптическую плотность при длине волны 380 нм в оптических кюветах толщиной поглощающего слоя 5 или 10 см относительно дистиллированной воды (холостая проба). [2]

Пробу анализируемой воды фильтруют через мембранный фильтр.

Выполнение измерений. Измеряют оптическую плотность проб анализируемой воды, при длине волны 380 нм для хром-кобальтовой шкалы цветности, в тех же кюветах, которые использовали при построении градуировочной характеристики относительно дистиллированной воды (холостая проба). [2]

Если цветность анализируемой воды составляет более 70 градусов цветности, исходную пробу воды разбавляют дистиллированной водой и регистрируют объем исходной пробы до разбавления V_n (см³) и объем разбавленной пробы воды V_p (см³). [2]

Градусы цветности рассчитывают по формуле:

$$y = KDF_p \quad (1)$$

где K - коэффициент градуировочной характеристики;

D - значение оптической плотности;

F_p - коэффициент разбавления, если пробу анализируемой воды разбавляли. Если разбавление пробы анализируемой воды не проводилось, то F_p принимают равным 1.

2.5 Определение содержания минеральных и органических форм углерода

Общий органический углерод (Total organic carbon, TOC) – количество углерода, входящего в состав органических соединений, часто используется как неспецифический показатель качества воды или ее чистоты. Общий связанный азот (TN_b) характеризует содержание в воде соединений азота, причём входящих как в состав неорганических веществ, так и органических соединений.

Принцип анализа. Анализируемая проба инжeksiруется в печь прибора, где происходит окисление соединений углерода, находящихся в пробе воды, при температуре 850°C в присутствии кислородсодержащего газа (синтетического воздуха) и Pt-катализатора до диоксида углерода CO₂. Количество, выделившегося диоксида углерода, определяется с помощью детектора инфракрасного излучения.

В режиме анализа ТС образец инжeksiруется прямо в трубку сжигания.

В режиме анализа ТИС/ТС, сначала в барботёр инжeksiруется кислота (1% H₃PO₄), затем образец, содержащийся в образце ТИС освобождается в виде CO₂ и определяется на ИК-детекторе. Вторая аликвота образца инжeksiруется прямо в трубку сжигания и производится определение ТС. ТОС вычисляется по разности ТС-ТИС.

Для установления градуировочной характеристики,

Устанавливали градуировочные характеристики, анализируя четыре градуировочных раствора в порядке возрастания массовых концентраций общего и неорганического углерода. Коэффициенты аппроксимации для всех калибровочных зависимостей R²=0,99. Метрологические характеристики методики приводятся в таблице 5.

Таблица 5 - Метрологические характеристики методики определения углерода

Диапазон измеряемой массовой концентрации общего органического углерода, мг/л	Показатель точности ±Δ, %
От 1 до 5	28
От 5 до 50	20
От 50 до 250	14
От 250 до 1000	8

Источник: составлено автором по инструкции к прибору.

2.6 Фотометрическое определение общего железа

Определение проведено на основе ПНД Ф 14.1:2:4.50-96 «Методика измерений массовой концентрации общего железа в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом».

Выполнение измерений. Измерение массовой концентрации общего железа можно проводить, используя способность ионов железа образовывать окрашенные комплексы с различными веществами, такими как сульфосалициловая кислота, ортофенатролин, 2,2-дипиридил. Объем пробы воды для измерения массовой концентрации железа должен быть не менее 200 см³ [7]. Если в обработке пробы нет необходимости, то к отобранному объему (100 см³ и менее) добавляют 0,5 см³ концентрированной азотной кислоты и упаривают раствор до 1/3 объема [7].

Полученный раствор, с концентрацией от 0,1 до 10,0 мг/дм³, помещают в мерную колбу на 100 см³, добавляют 2 см³ раствора хлорида аммония, приливают 2,0 см³ сульфосалициловой кислоты и нейтрализуют раствором аммиака до желтой окраски. Доводят до отметки дистиллированной водой. Тщательно перемешивают и оставляют на 5 мин до полного развития окраски. Оптическую плотность полученного раствора измеряют при длине волны $\lambda=425$ нм, в кювете с длиной поглощающего слоя 50 или 10 мм по холостому раствору, проведенного таким же способом содержания железа общего [7].

Содержание железа рассчитывают по формуле:

$$X = \frac{C \cdot 100}{V} \quad (2)$$

где X – содержание железа, мг/дм³; C – концентрация железа, найденная по градуировочному графику, мг/дм³; 100 – объем, до которого разбавлена проба, см³; V – объем пробы, см³.

2.7 Определение концентраций металлов методом атомно-абсорбционной спектрометрии

Определение проводится на основе ПНД Ф 14.1:2:4.139 – 98 «Методика выполнения измерения массовых концентраций металлов (кадмия, меди, свинца, никеля, хрома, кобальта, железа, марганца, цинка, титана, алюминия) в пробах питьевой, природной и сточной воды атомно-абсорбционным (ААС) методом с электротермической атомизацией». [6]

Данная методика выполнения измерений (МВИ) распространяется на питьевые, природные и сточные воды и предназначена для определения массовой концентрации металлов методом атомной абсорбции с электротермической атомизацией в графитовой печи (АА-ЭТ) в следующих диапазонах:

Кадмий	От 0,1 до 10,0	мкг/дм ³
Медь	От 1,0 до 50,0	мкг/дм ³
Свинец	От 1,0 до 50,0	мкг/дм ³
Никель	От 1,0 до 50,0	мкг/дм ³
Хром	От 1,0 до 50,0	мкг/дм ³
Кобальт	От 1,0 до 50,0	мкг/дм ³
Железо	От 10,0 до 100,0	мкг/дм ³
Марганец	От 1,0 до 50,0	мкг/дм ³
Цинк	От 1,0 до 50,0	мкг/дм ³
Алюминий	От 10,0 до 100,0	мкг/дм ³

Если определяемые концентрации превышают верхний предел, указанный в МВИ, пробу следует разбавить бидистиллированной водой. Для устранения мешающего влияния хлоридов и сульфатов при определении свинца к 100 см³ пробы и градуировочных растворов добавляют по 10 см³ раствора нитрата лантана. При концентрации ионов кальция выше 200 мг/дм³ в анализируемые градуировочные растворы при определении хрома вводят нитрат кальция. Наличие мешающего влияния матрицы анализируемых проб устраняется методом разбавления совместного с методом добавок. [6] Методика выполнения измерений с доверительной вероятностью P=0,95 обеспечивает получение результатов анализа с погрешностью, не превышающей значений, приведенных в таблице 6.

Таблица 6 - Метрологические характеристики погрешности результатов измерений

Наименование элементов	Диапазон определения концентраций, мг/дм ³	Относительная погрешность измерения %, ± δ не более		Норматив (оперативного) контроля воспроизводимости, D
		Питьевая и природная вода	Сточная вода	
Кадмий	От 0,1 до 1,0	36	36	30
	Св. 1,0 до 10	18	18	25
Медь	От 1 до 50	18	18	14
Кобальт	От 1 до 5	30	50	39
	Св. 5 до 50	13	30	17
Никель	От 1 до 5	26	26	28
	Св. 5 до 50	20	20	17
Свинец	От 1 до 5	31	32	42
	Св. 5 до 50	13	17	17
Хром	От 1 до 5	22	28	31
	Св. 5 до 50	18	26	14
Железо	От 10 до 100	25	26	17
Цинк	От 1 до 50	25	32	33
Марганец	От 1 до 50	18	14	17
Алюминий	От 10 до 100	50	22	19

Источник: ПНД Ф 14.1:2:4.139 – 98 «Методика выполнения измерения массовых концентраций металлов»

Для анализа использован атомно-абсорбционный спектрофотометр «ContrAA700», определения проведены в режиме электротермической атомизации.

Выполнение измерений. Проба воды, свободная от заметных глазом взвешенных частиц, анализируется без предварительной пробоподготовки. Измерение величины атомного поглощения анализируемой пробы осуществляется в соответствии с режимами измерения и анализа. Одновременно проводится измерение величины атомного поглощения холостой пробы [6]. При электротермической атомизации испарение и атомизация пробы происходит в графитовой трубке (графитовой печи), нагреваемой

электрическим током до температур 1500 – 3000 °С (в зависимости от свойств определяемого элемента) [6].

По полученным величинам атомного поглощения проб анализируемой воды и холостых проб определяют значение атомного поглощения соответствующего элемента, на основании значения которого по градуировочному графику определяют значение массовой концентрации определяемого элемента в пробе воды X , мкг/дм³ [6].

2.8 Определение содержания нефтепродуктов методом ИК-спектрофотометрии

Определение содержания нефтепродуктов проведено согласно ПНД Ф 14.1:2:4.168-2000 «Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах питьевых, природных и очищенных сточных водах методом ИК-спектрофотометрии с применением концентратометров серии КН»

Настоящий документ устанавливает ИК-спектрофотометрическую методику количественного химического анализа (КХА) проб питьевых, природных и очищенных сточных вод для определения в них массовой концентрации нефтепродуктов (НП) в диапазоне концентраций от 0,02 до 2,00 мг/дм³. [4]

Таблица 7 - Диапазон измерений, значения показателей точности, повторяемости и воспроизводимости.

Диапазон измерений, мг/дм ³	Показатель повторяемости σ_r , %	Показатель воспроизводимости (при $n = 1$), σ_R , %	Показатель воспроизводимости (при $n = 2$), σ_{Rr} , %	Показатель точности (при вероятности $P = 0,95$ и $n = 1$), $\pm\delta$, %	Показатель точности (при вероятности $P = 0,95$ и $n = 2$), $\pm\delta_r$, %
От 0,02 до 0,025 вкл.	12	24	22	48	44
Свыше 0,025 до 0,1 вкл.	11	20	18	40	36
Свыше 0,1 до 2,0 вкл.	8	12	10	24	20

Источник: ПНД Ф 14.1:2:4.168-2000 «Количественный химический анализ вод.

Метод заключается в выделении эмульгированных и растворенных нефтяных компонентов из воды экстракцией четыреххлористым углеродом, хроматографическом

отделении НП от сопутствующих органических соединений других классов на колонке, заполненной оксидом алюминия, и количественном их определении по интенсивности поглощения С-Н связей в инфракрасной области спектра (2930 ± 70) см^{-1} .

Выводы: Приведённые в главе методы предназначены для определения характеристик водной среды (рН, удельной электропроводности, ионного состава, содержания минеральных и органических форм углерода, тяжелых металлов, нефтяных углеводородов (нефтепродуктов)). В данном разделе приведены диапазоны определяемых концентраций и погрешностей определения всех показателей.

ГЛАВА 3 ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ВОД МАЛЫХ РЕК ВЕРХНЕ-САЛЫМСКОГО ЛУ

3.1 Определение ионного состава малых рек Верхне-Салымского ЛУ

Определение катионов проводилось на основе ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000 «Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций катионов калия, натрия, лития, магния, кальция, аммония, стронция, бария в пробах питьевых, природных, сточных вод методом капиллярного электрофореза с использованием системы капиллярного электрофореза "Капель"». Определение анионов выполнено на основе ПНД Ф 14.2:4.176-2000 «Количественный химический анализ вод. Методика определения содержания анионов (хлорид-, сульфат-, нитрат-, бромид- и иодид-ионов) в природных и питьевых водах методом ионной хроматографии» с использованием ионного хроматографа «Dionex ICS 2100».(см. Приложение А)

Полученные результаты по ионному составу были использованы для классификации вод по О.А. Алекину. Исследуемые воды малых рек Верхне-Салымского ЛУ относятся к гидрокарбонатно-кальциевому типу и имеют низкую минерализацию (менее 200 мг/л).

3.2 Интегральные характеристики вод малых рек Верхне-Салымского ЛУ

В пробах были определены значение водородного показателя, электропроводности и цветности. Определение рН и электропроводности проведено на основе РД 52.24.495-2005 «Водородный показатель и удельная электрическая проводимость вод». Определение цветности проведено на основе ГОСТ Р52769 - 2007 «Вода. Методы определения цветности»

Значение рН вод определяется присутствием в ней различных веществ кислотного характера, главными кислотно-основными компонентами природных вод являются гидрокарбонатная и гумусовая буферные системы.

Общая электропроводность природных вод обусловлена содержанием в них электролитов.

Цветность природных вод в основном обусловлена присутствием в них гумусовых веществ, кроме этого, на цветность может оказывать влияние содержание в воде различных форм железа.

Результаты определения интегральных характеристик вод малых рек Верхне-Салымского лицензионного участка приведены в таблице 8.

Таблица 8 - Результаты определения интегральных характеристик.

№ пробы	Название реки	рН	УЭП, мкСм/см	Цветность, °Цв (Cr-Co)
1	р. Большой Салым	7.45 ± 0.1	94.7 ± 9.5	143 ± 14.3
2	Вандрас, устье реки	6.78 ± 0.1	50.4 ± 5.0	118 ± 11.8
3	р. Лев, автодорожный мост	7.56 ± 0.1	135 ± 13	178 ± 17.8
4	р. Лев, автодорожный мост	7.72 ± 0.1	162 ± 16	133 ± 13.3
5	р. Самсоновская, устье реки	7.59 ± 0.1	151 ± 15	203 ± 20.3
6	р. Манчем-ега	7.46 ± 0.1	116 ± 12	128 ± 12.8
7	р. Вандрас, перед впадением в р. Лев	7.46 ± 0.1	114 ± 11	127 ± 12.7
8	р. Лев, перед въездом на промысел	7.79 ± 0.1	101 ± 10	115 ± 11.5
9	р. Самсоновская, устье реки	7.30 ± 0.1	79.1 ± 7.9	162 ± 16.2
10	р. Немич, исток реки	7.34 ± 0.1	78.6 ± 7.9	117 ± 11.7

Источник: составлено автором на основе расчетов.

Результаты измерений показывают, что значение рН во всех пробах близко к нейтральному, что указывает на достаточно высокую способность вод к нейтрализации кислотообразующих веществ. Самый низкий показатель рН наблюдается в пробе №2 – 6,78, самый высокий – в пробе №8 – 7,79 ед.рН. Самый высокий показатель электропроводности наблюдается в пробе №4 – 162, самый низкий – в пробе №2 – 50,4 мкСм/см. Цветность вод варьирует в интервале от 115 до 203, что может быть обусловлено поступлением высокогумусных болотных вод на данной территории. Самый низкий показатель цветности наблюдается в пробе №10 – 117, самый высокий – в пробе №5 – 203 °Цв (Cr-Co).

3.3 Содержание минеральных и органических форм углерода в пробах вод малых рек Верхне-Салымского ЛУ

В природных водах содержание органического углерода обусловлено присутствием: во-первых, гумусовых веществ, поступающих с водосбора (аллохтонное органическое вещество), во-вторых, содержанием автохтонного органического вещества, продуцируемого в самом водоеме. Минеральные формы углерода - это угольная кислота (растворенный углекислый газ), гидрокарбонат- и карбонат-ионы.

В пробах проведено определение содержания минеральных и органических форм углерода. Полученные данные представлены в таблице 9

Таблица 9 - Содержание минеральных и органических форм углерода.

№ пробы	Название реки	Содержание углерода, мкг/ дм ³		
		С _{мин}	С _{общ}	С _{орг}
1	р. Большой Салым	12.2 ± 0.12	28.2 ± 0.28	16.0 ± 0.16
2	Вандрас, устье реки	17.2 ± 0.17	33.9 ± 0.34	16.7 ± 0.17
3	р. Лев, автодорожный мост	14.3 ± 0.14	31.1 ± 0.31	16.8 ± 0.17
4	р. Лев, автодорожный мост	14.4 ± 0.14	31.6 ± 0.32	17.2 ± 0.17
5	р. Самсоновская, устье реки	14.3 ± 0.14	32.0 ± 0.32	17.7 ± 0.18
6	р. Манчем-ега	20.7 ± 0.21	38.8 ± 0.39	18.1 ± 0.18
7	р. Вандрас, перед впадением в р. Лев	20.7 ± 0.21	39.1 ± 0.39	18.4 ± 0.18
8	р. Лев, перед въездом на промысел	13.2 ± 0.13	31.7 ± 0.32	18.5 ± 0.18
9	р. Самсоновская, устье реки	8.94 ± 0.09	28.1 ± 0.28	19.2 ± 0.19
10	р. Немич, исток реки	1.84 ± 0.02	22.1 ± 0.22	20.2 ± 0.20

Источник: составлено автором на основе расчетов.

Минеральные формы углерода при рН 6,5 – 7,0 представлены гидрокарбонат-ионами. Содержанием свободной угольной кислоты и карбонат-ионов при данном значении рН можно пренебречь. Чем больше концентрация HCO_3^- тем больше и буферная способность природных вод в отношении кислотообразующих веществ. Содержание гидрокарбонат-ионов в пробах вод варьирует от 1,84 до 21 мкг/дм³, что составляет 0,15 – 1,75 ммоль/дм³.

Содержание общего углерода в пробах вод варьируется от 22 до 39 мкг/дм³, что составляет 0,18 – 3,25 ммоль/дм³.

Содержание органического углерода в пробах вод варьируется от 16 до 20 мкг/дм³, что составляет 1,3 – 1,6 ммоль/дм³.

На рисунке 3. приведено распределение минерального и органического углерода в пробах вод.

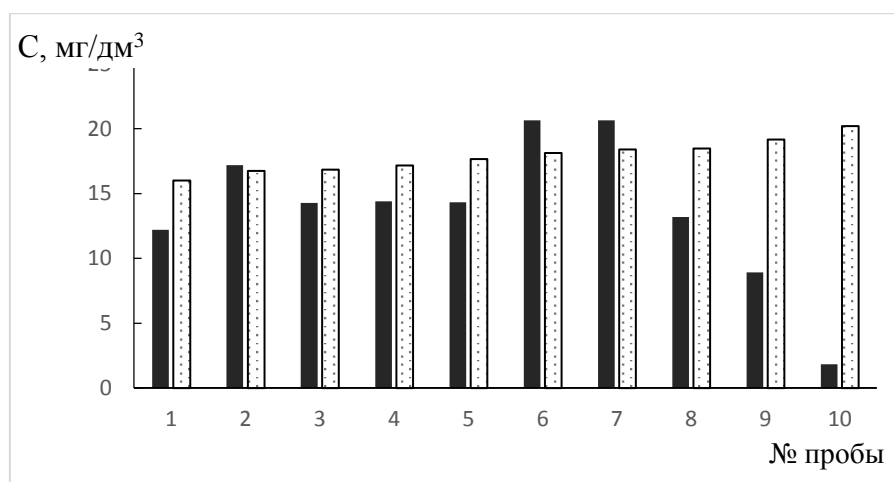


Рисунок 3. Распределение минерального и органического углерода в пробах рек Верхне-Салымского ЛУ: первый столбец – $C_{\text{мин}}$, второй столбец – $C_{\text{орг}}$. (составлено автором на основе расчетов)

Из приведённого рисунка видно, что минимальное содержание гидрокарбонат-ионов – в пробе, отобранной в реке Немич, контрольной, не испытывающей антропогенной нагрузки. Для этой же пробы содержание органического углерода оказалось самым высоким. Этот факт связан с заболоченностью водосбора реки Немич. В большинстве водоемов содержание органического и минерального углерода близки.

На основании данных по рН и содержанию гидрокарбонат-ионов в водах рек можно судить об их устойчивости в отношении кислотообразующих оксидов. Значение рН во всех пробах выше 7. Содержание гидрокарбонат-ионов варьирует в интервале от 200 до 300 мкмоль/дм³. Такие воды обладают высокой устойчивостью к поступлению кислот.

3.4 Характеристика содержания тяжёлых металлов

Проблема загрязнения экосистем тяжелыми металлами в наше время достаточно актуальна, но у ученых нет единого мнения по поводу классификации металлов по их влиянию на организмы и окружающую среду. Одни придерживаются мнения, что металлы в основном эссенциальны и являются жизненно необходимыми для жизнедеятельности, но строго в определенном количестве. Другие напротив разделяют все металлы на: незаменимые, те, которые необязательны организму и токсичные. Токсичные металлы при довольно низких концентрациях не вредят живым организмам, но существует группа металлов, токсикологические свойства которых при очень низких концентрациях сильно выражены. В данной работе во всех пробах было определено содержание общего железа методом спектрофотометрии. Результаты по определению содержания железа представлены в таблице 10.

Содержание других металлов (Cu, Pb, Cr, Cd, Ni, Mn, Al) в пробах вод малых рек Верхне-Салымского ЛУ определили методом атомно-абсорбционной спектрометрии с электротермической атомизацией.

Железо является одним из самых распространённых металлов в природных водоёмах. Поступление данного элемента обусловлено химическим выветриванием пород. Железо образует сложные комплексы с содержащимися в воде органическими и минеральными веществами. В болотных водах железо в основном представлено связанным в комплексы с гуминовыми кислотами.

Таблица 10 - Содержание общего железа в пробах воды

№ пробы	$C \pm \Delta C$ мг/ дм ³	Кратность превышения ПДК
1	3,81±0,57	38,1
2	2,53±0,55	26,3
3	2,53±0,60	25,3
4	2,70±0,50	27,0
5	2,93±0,52	29,3
6	3,17±0,40	31,7
7	3,46±0,44	34,6
8	3,68±0,38	36,8
9	4,00±0,48	40,0
10	5,03±0,38	50,3

Источник: составлено автором на основе расчетов.

Сравнение содержания общего железа проводили со значением ПДК для рыбохозяйственных водоёмов (ПДК=0,1 мг/дм³). Превышение ПДК наблюдается для всех проб (кратность превышения ПДК порядка 30 единиц).

Важным фактором, определяющим буферную емкость водных экосистем по отношению к токсичным металлам является комплексообразующая способность вод (КСВ). Под КСВ подразумевается интегральный показатель, характеризующий способность поверхностных вод связывать ионы металлов. Для оценки КСВ надо сравнивать значения $C_{орг}$ с содержанием микроэлементов (мкмоль/дм³). Согласно литературным данным один мг/дм³ органического углерода связывает примерно 1 мкмоль/дм³ ионов металлов.[45] Содержание железа во всех водных объектах (от 130 до 160 мкмоль/дм³) намного выше содержание органического углерода (от 16 до 20 мг/дм³).

Такого количества гумусовых веществ недостаточно для инактивации тяжелых металлов присутствующих в водоёмах.

Третье место по распространенности среди всех элементов занимает в земной коре алюминий. Алюминий также содержится во всех природных водах, его поступление обусловлено как естественными факторами (растворение глин и алюмосиликатов), так и антропогенными (промышленные выбросы, атмосферные осадки или сточные воды). Данный элемент существует в различных формах (ионной, коллоидной и взвешенной), обладает низкой миграционной способностью, но образует устойчивые органоминеральные комплексы. Являясь распространенным металлом, алюминий оказывает влияние на процессы жизнедеятельности различных организмов.

Содержание алюминия выше предела обнаружения во всех пробах. Интервал варьирования его содержания от 20 до 110мкг/дм³. Содержание алюминия сравнивали со значением ПДК для рыбохозяйственных водоёмов (ПДК=40 мкг/дм³). Результаты по определению концентрации алюминия в пробах воды представлены в таблице 11.

Таблица 11 - Содержание алюминия в пробах воды.

№ пробы	С±ΔС мкг/дм ³		Кратность превышения ПДК
1	74.7	±27,2	1.9
2	111	±55,5	2.8
3	25.0	±4,5	<ПДК
4	90.2	±45,1	2.3
5	96.3	±48,1	2.4
6	207	±103	5.2
7	161	±80,5	4.0
8	101	±50,5	2.5
9	92.6	±46,3	2.3
10	142	±12,0	3.6

Источник: составлено автором на основе расчетов.

Самая низкая концентрация алюминия наблюдается в пробе № 3 – 25 мкг/дм³, самая высокая – в пробе № 6 – 207мкг/дм³. Во всех пробах (кроме 3) наблюдается превышение ПДК.

Медь является эссенциальным микроэлементом. В природной воде медь распространена в виде соединений Cu(II). В виде соединений Cu(I) медь представлена труднорастворимыми в воде халькозином Cu₂S и ковеллином CuS. Также медь способна образовывать прочные комплексные соединения с органическими соединениями. В природные воды медь поступает со сточными водами различных предприятий. Содержание данного металла в подземной воде обусловлено взаимодействием последней

с породами, содержащими медь в своем составе (халькопирит, халькозин, ковеллин, борнит, малахит, азурит, хризаколла, бротантин). Несмотря на то, что медь является жизненно важным элементом, при высоких концентрациях она способна проявлять остротоксичные свойства.

Содержание меди выше предела обнаружения во всех пробах, концентрация варьируется в интервале от 0,5 до 3 мкг/дм³. Концентрацию меди сравнивали со значением ПДК для рыбохозяйственных водоёмов (ПДК=1 мкг/дм³).

ПДК меди в водоёмах рыбохозяйственного назначения составляет 1 мкг/л. Превышение данного показателя было выявлено в пробах 4 и 6.

Определение содержания Mn, Ni, Cr, Cd, Pb не показало превышение ПДК для рыбохозяйственных объектов или было ниже предела обнаружения.

Результаты по определению концентрации Mn, Ni, Cr, Cd, Pb, Cu в пробах воды представлены в таблице 12.

Таблица 12 - Содержание Mn, Ni, Cr, Cd, Pb, Cu в пробах воды.

Номер пробы	Mn	Ni	Cr	Cd	Pb	Cu
	мкг/дм ³					
1	2.93	0.61	0.77	0.09	0.00	0.50
2	3.01	0.05	0.66	0.00	0.00	0.46
3	2.60	0.77	0.26	0.00	0.00	0.38
4	2.30	0.35	0.32	0.02	0.35	1.32
5	9.40	0.00	0.05	0.17	0.27	0.65
6	1.37	0.00	0.21	0.00	1.67	1.19
7	4.10	1.06	0.70	0.39	1.66	0.75
8	2.70	0.04	0.31	0.00	0.44	0.93
9	2.23	0.00	0.58	0.36	0.98	0.59
10	2.64	0.38	0.37	0.00	0.17	0.61
ПДК	10.00	10.00	20.00	5.00	6.00	1.00

Источник: составлено автором на основе расчетов.

Для комплексной оценки качества поверхностных вод суши используется индекс загрязненности воды (ИЗВ). Он позволяет не только сравнить качество воды в разных водных объектах, но и оценить как временную, так и пространственную динамику качества воды- изменение его от года к году, от створа к створу, от пункта к пункту.

Например, в методике расчета ИЗВ только по химическим показателям расчет проводится для каждого пункта (створа) по формуле:

$$ИЗВ = \frac{\sum (C_{1-6} / ПДК_{1-6})}{6}, \quad (3)$$

где $C / \text{ПДК}$ — относительная (нормированная) среднегодовая концентрация;
6 — строго лимитируемое количество показателей.

При расчете используются более жесткие рыбохозяйственные ПДК

Индекс загрязнения вод для малых рек Верхне-Салымского ЛУ представлен в таблице 13.

Значения ИЗВ для вод малых рек Верхне-Салымского ЛУ лежат в интервале от 5.6 до 11.1, что характеризует данные реки как очень грязные.

Таблица 13 - Индекс загрязнения вод для малых рек Верхне-Салымского ЛУ.

Номер пробы	Название реки	ИЗВ
1	р. Большой Салым	8.7
2	Вандрас, устье реки	8.2
3	р. Лев, автодорожный мост	6.0
4	р. Лев, автодорожный мост	6.8
5	р. Самсоновская, устье реки	5.6
6	р. Манчем-ега	9.0
7	р. Вандрас, перед впадением в р. Лев	11.1
8	р. Лев, перед въездом на промысел	7.7
9	р. Самсоновская, устье реки	8.1
10	р. Немич, исток реки	6.0

Источник: составлено автором на основе расчетов.

Выводы: По полученным данным ионного состава исследуемые воды малых рек Верхне-Салымского ЛУ можно отнести к гидрокарбонатному классу вод группы кальция. Все исследуемые малые реки слабо минерализованы, ультрапресные (общая минерализация менее 200 мг/л) и относятся к нейтральным (значение рН варьирует в диапазоне: 6,78-7,79). По результатам определения содержания металлов (Cd, Pb, Cr, Ni, Mn, Al, Fe, Cu) выявлено превышение ПДК по железу (во всех пробах, кратность превышения ПДК порядка 30 единиц), алюминию (во всех пробах кроме пробы № 5, превышение составляет 3 ПДК) и меди (в пробах № 4 и 6, кратность превышения составляет 1 ПДК). Содержание остальных металлов не превышает ПДК_{рбх}.

Значения ИЗВ для вод малых рек Верхне-Салымского ЛУ лежат в интервале от 5.6 до 11.1, что характеризует данные реки как "Очень грязные". В отношении кислотообразующих веществ все водоемы являются весьма устойчивыми (рН больше 7). Комплексообразующая способность вод крайне низкая. Содержание тяжелых металлов (мкмоль/дм³) превышает содержание гумусовых веществ (Сорг, мг/дм³), что указывает на существование ионов металлов преимущественно в ионной, наиболее токсичной, форме.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе анализа литературных данных выяснено, что основными загрязняющими веществами, сопутствующими добыче нефти и газа, являются кислотообразующие оксиды, тяжелые металлы, нефтяные углеводороды и другие органические вещества. Для оценки устойчивости водных объектов в отношении поступления этих веществ необходимо определение pH, ионного состава, содержания органических веществ, микроэлементов и основных органических токсикантов.

2. По полученным данным ионного состава исследуемые воды малых рек Верхне-Салымского лицензионного участка можно отнести к гидрокарбонатному классу вод группы кальция. Все исследуемые малые реки слабо минерализованы, ультрапресные (общая минерализация менее 200 мг/л) и относятся к нейтральным (значение pH варьирует в диапазоне: 6,78-7,79). По результатам определения содержания металлов (Cd, Pb, Cr, Ni, Mn, Al, Fe, Cu) выявлено превышение ПДК по железу (во всех пробах, кратность превышения ПДК порядка 30 единиц), алюминию (во всех пробах кроме пробы № 5, превышение составляет 3 ПДК) и меди (в пробах № 4 и 6, кратность превышения составляет 1 ПДК). Содержание остальных металлов не превышает ПДК_{рбх}.

3. Значения ИЗВ для вод малых рек Верхне-Салымского лицензионного участка лежат в интервале от 5.6 до 11.1, что характеризует данные реки как "Очень грязные". В отношении кислотообразующих веществ все водоемы являются весьма устойчивыми (pH больше 7). Комплексообразующая способность вод крайне низкая. Содержание тяжелых металлов (мкмоль/дм³) превышает содержание гумусовых веществ (Сорг, мг/дм³), что указывает на существование ионов металлов преимущественно в ионной, наиболее токсичной, форме.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

Нормативно-правовые источники

1. РД 52.24.495-2005 Водородный показатель и удельная электрическая проводимость вод. Методика выполнения измерений электрометрическим методом / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. - Ростов-на-Дону: ГУ "Гидрохимический институт", 2005 год
2. ГОСТ Р 52769-2007 Вода. Методы определения цветности/ Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2007 год
3. ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций катионов калия, натрия, лития, магния, кальция, аммония, стронция, бария в пробах питьевых, природных, сточных вод методом капиллярного электрофореза с использованием системы капиллярного электрофореза "капель" / Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды. - М., 2000 год.
4. ПНД Ф 14.1:2:4.168-2000 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в питьевых, природных и очищенных сточных водах методом ИК-спектрофотометрии на концентратомере КН-2м / Государственный комитет РФ по охране окружающей среды. - М., 2000 год
5. ПНД Ф 14.2:4.176-2000 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций анионов (хлоридов, сульфатов, нитратов, бромидов и йодидов) в природных и питьевых водах методом ионной хроматографии / Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды. - М., 2000 год.
6. ПНД Ф 14.1:2:4.139-98 Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовых концентраций кобальта, никеля, меди, цинка, хрома, марганца, железа, серебра, кадмия и свинца в пробах питьевых, природных и сточных вод методом атомно-абсорбционной спектрометрии/ Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды. - М., 1998 год
7. ПНД Ф 14.1:2.50-96 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации общего железа в природных и сточных водах фотометрическим методом с сульфосалициловой кислотой / Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации. - М., 1996 год.

Литература

8. Алимов А.Ф. Введение в продукционную гидробиологию/Л, Гидрометеиздат, 1989. 151с.
9. Атлас Тюменской области. – М.-Тюмень: Изд-во МГУ и ГУГК,1971.
10. Атлас ХМАО, Тюмень, 2004 г.
11. Баринаова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: изд-во "Pilies Studio", 2006. 498 с.
12. Бобов В.И., Гашев С.Н., Казанцева М.Н., Паучев Е.А. Опыт наземного обследования и паспортизации нефтезагрязненных земель // Леса и лесное хозяйство Западной Сибири, 1998, № 6, с. 172-178.
13. Богомолов А.И., Гайле А.А., Громова В.В. и др. Химия нефти и газа. – СПб.: Химия, 1995. – 448 с.
14. Булатов А.И., Макаренко П.П., Шеметов В.Ю. Охрана окружающей среды в нефтегазовой промышленности. - М.: Недра, 1997. – 483 с.
15. Варшал, Г.М. Изучение органических веществ поверхностных вод и их взаимодействие с ионами металлов / Г.М. Варшал, И.Я. Кошечева, И.С. Сироткина И.С. [и др.] // Геохимия, 1979, № 4, с. 598-608.
16. Гидрологическая изученность, т. 15, вып. 2, Ленинград, 1964 г.
17. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. М., 1988.
18. Дорожукова С.Л., Янин Е.П. Экологические проблемы нефтегазодобывающих территорий Тюменской области. – М.: ИМГРЭ, 2004. – 56 с.
19. Дорожукова С.Л., Янин Е.П. Экологические проблемы нефтегазодобывающих территорий (на примере Тюменской области) // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды, 2002, № 6, с. 57-92.
20. Классификация почв Росси, М. Почв. Ин-т им. В.В. Докучаева. 1997.
21. Крохалевский В.Р. О необходимости защиты интересов рыбного хозяйства при освоении месторождений нефти и газа в Западной Сибири // Биологические ресурсы и проблемы развития аквакультуры на водоемах Урала и Западной Сибири. – Тюмень, 1996, с. 67-69.
22. Лапин, И.А. Влияние гуминовых кислот на поведение тяжелых металлов в эстуарных водах / И.А. Лапин, В.Н. Красюков // Океанология. 1986а. Т. 26. Вып. 4. С. 621 – 627.
23. Лапин, И.А. Роль гумусовых веществ в процессах комплексообразования и миграции металлов в природных водах / И.А. Лапин, В.Н. Красюков // Вод. ресурсы. 1986б. № 1. С. 134–143.

24. Малышев Ю.С. Специфика экологического подхода и некоторые проблемы оценки состояния экосистем и сохранения биоразнообразия//Методология оценки состояния экосистем. Новосибирск, Наука, 1998. С. 4-34
25. Михайлова Л.В. Особенности загрязнения рек нефтепродуктами // Изучение процессов формирования химического состава природных вод в условиях антропогенного воздействия. Мат-лы XXVIII Всес. гидрохим. сов., мая 1984. Ч. 1. - Л.: Гидрометеоздат, 1987, с. 113-114.
26. Моисеенко, Т.И. Закисление вод: факторы, механизмы и экологические последствия / Т.И. Моисеенко. - М.: Наука, 2003. 276 с.
27. Московченко Д.В. Нефтегазодобыча и окружающая среда: эколого- геохимический анализ Тюменской области. – Новосибирск: Наука, 1998. – 112 с.
28. Обустройство Верхнесалымского месторождения/ Том.5. Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС). Охрана окружающей природной среды (ООС)/ Книга 1 Ландшафты. Почвы. Растительный и животный мир. Социальная среда, ОАО «Гипротюменнефтегаз», 2005 – 178 стр.
29. Обустройство Верхнесалымского месторождения/ Том.5. Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС). Охрана окружающей природной среды (ООС)/ Книга 2 Воздушная и водная среды. Земельные ресурсы. Отходы производства, ОАО «Гипротюменнефтегаз», 2005 – 351 стр.
30. Обустройство Верхнесалымского месторождения/ Том.5. Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС). Охрана окружающей природной среды (ООС)/ /Книга 3 Рыбохозяйственный раздел. Расчет ущерба, наносимого рыбному хозяйству, ОАО «Гипротюменнефтегаз», 2005 – 72 стр.
31. Основные гидрологические характеристики, т. 15, вып. 1, 2, ГиМИз, Ленинград, 1984 г.
32. Папина Т.С., Третьякова Е.И., Эйрих А.Н. Факторы, влияющие на распределение тяжелых металлов по абиотическим компонентам водных экосистем Средней и Нижней Оби // Химия в интересах устойчивого развития, 1999, 7, № 5, с. 553-564.
33. Растительный покров Западно-Сибирской равнины /Ильина И.С., Лапшина Е.И., Лавренко Н.Н. и др. Новосибирск, Наука, 1985.
34. Ресурсы поверхностных вод СССР, т. 15, вып. 2, ГиМИз, Ленинград, 1973 г.
35. Родюшкин, И.В. Основные закономерности распределения металлов по формам в поверхностных водах Кольского Севере / Илья Владимирович Родюшкин. Дис... канд. геог. наук. С.-Пб.: 1995. 161 с.

36. Романенко Ю.В. Экологические проблемы в районах добычи и транспортировки нефти и газа в Западной Сибири // География на рубеже веков: проблемы регионального развития: Мат-лы Междунар. науч. конф., Курск, 22- 25 сент., 1999, Т. 3. –Курск, 1999, с. 208-218.
37. Симонова, Н.Л. Комплексный анализ формирования и прогноз загрязнения речных вод в бассейне Средней и Нижней Оби: автореферат дис. ...канд. геогр. наук. - М, 2005, 24 с.
38. Титлянова А.А., Косых Н.П. Изменение биологического круговорота углерода в ландшафтах Западной Сибири в связи с различным использованием земель // География и природные ресурсы, 1999, № 3, с. 66-76.
39. Уварова В.И. Современное состояние качества воды р. Оби в пределах Тюменской области // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. – Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2000, вып. 1, с. 18-26.
40. Хренов В. Я. Почвы Тюменской области. Екатеринбург, 2002
41. Физико-географическое районирование Тюменской области. - М.: Изд-во МГУ, 1973.
42. Черняев А.М. (отв. ред.) Россия: Речные бассейны. – Екатеринбург: РосНИИВХ, 1999. – 520 с.
43. Шеховцов А.А., Жильцов Е.В., Чижов С.Г. Влияние отраслей экономики Российской Федерации на состояние природной среды в 1993-1995 гг. – М.: Издательский центр «Метеорология и гидрология», 1997. – 329 с.
44. Щелкачев В.Н. Анализ разработки крупнейших нефтяных месторождений СНГ и США. – М.: ВНИИОУЭНГП, 1994. – 7 с.
45. Mantoura R.F.C., Dickson A., Riley J.P. The complexation of metals with humic materials in natural waters. // Estuar. Coastal Mar. Sci 1978. V. 6. P. 387-408.
46. McKnight, D. M. Morel, F. M. Copper complexation by siderophores from filamentous blue-green algae. Limnol. Oceanogr. 1980. 25 (1), 62-71.
47. Sladecek V. System of water quality from the biological point of the view. /Stuttgan Ergtbnisse limnol., 1973, p. 218.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(Ионный состав вод в пробах воды)

Номер пробы	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
	мг/дм ³							
1	0.92 ± 0.14	4.03 ± 0.60	4.39 ± 0.66	18.2 ± 2.74	2.11 ± 0.27	1.71 ± 0.26	1.22 ± 0.18	16.0 ± 0.16
2	0.75 ± 0.11	5.99 ± 0.90	6.18 ± 0.93	24.5 ± 3.68	2.11 ± 0.44	2.10 ± 0.32	<1,00	16.7 ± 0.17
3	0.75 ± 0.11	7.46 ± 1.12	4.91 ± 0.74	20.1 ± 3.02	2.11 ± 0.53	<1,60	1.04 ± 0.16	16.8 ± 0.17
4	0.83 ± 0.12	7.49 ± 1.12	4.66 ± 0.70	19.8 ± 2.96	2.11 ± 0.55	<1,60	<1,00	17.2 ± 0.17
5	1.00 ± 0.15	3.45 ± 0.52	4.16 ± 0.62	24.2 ± 3.64	2.11 ± 0.29	<1,60	1.91 ± 0.29	17.7 ± 0.18
6	0.80 ± 0.12	4.78 ± 0.72	9.74 ± 1.46	34.6 ± 5.19	2.11 ± 0.21	2.38 ± 0.36	2.75 ± 0.41	18.1 ± 0.18
7	0.74 ± 0.11	6.02 ± 0.91	6.13 ± 0.91	20.5 ± 3.08	2.11 ± 0.40	1.97 ± 0.30	<1,00	18.4 ± 0.18
8	0.60 ± 0.09	3.07 ± 0.46	3.61 ± 0.54	15.2 ± 2.28	2.11 ± 0.13	<1,60	<1,00	18.5 ± 0.18
9	0.78 ± 0.12	4.74 ± 0.71	4.43 ± 0.66	18.9 ± 2.84	2.11 ± 0.28	<1,60	<1,00	19.2 ± 0.19
10	0.64 ± 0.10	1.09 ± 0.16	1.85 ± 0.28	13.1 ± 1.97	2.11 ± 0.13	<1,60	1.34 ± 0.20	20.2 ± 0.20

Источник: составлено автором на основе расчетов

