

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

Институт наук о Земле
Кафедра геоэкологии и природопользования

РЕКОМЕНДОВАНО К ЗАЩИТЕ В ГЭК
Заведующий кафедрой
Доктор биологических наук
_____ А.В. Синдирева
_____ 2021 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
магистерская диссертация

**ИСТОЧНИКИ ДИФFUЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТАМИ
ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ СРЕДНЕГО ПРИОБЬЯ**

05.04.06 Экология и природопользование
Магистерская программа «Геоэкология нефтегазодобывающих регионов»

Выполнил (а) работу
студент (ка) 2 курса
очной формы обучения

Чуклин Константин
Андреевич

Научный руководитель
К.г.н., доцент, директор Института
наук о Земле ТюмГУ

Хорошавин Виталий
Юрьевич

Рецензент
К.г.н., доцент,
заведующий кафедрой картографии и
геоинформационных систем
Института наук о Земле ТюмГУ

Идрисов Ильдар
Рустамович

Тюмень
2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	7
1.1 КЛАССИФИКАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЙ.....	7
1.2 ИСТОРИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ВОПРОСА ВЛИЯНИЯ ДИФФУЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ.....	10
1.3 ПРОБЛЕМАТИКА УЧЕТА ДИФФУЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ	11
1.4 МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ВЛИЯНИЯ ДИФФУЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ.....	15
ГЛАВА 2. ОБЗОР МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ДИФФУЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ	17
2.1 ЭМПИРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ	17
2.1.1. Модель разделения основного стока (BFSM).....	19
2.1.2. Модель накопление осадков	21
2.1.3. Модель на основе искусственного интеллекта (ИИ).....	22
2.2 ФИЗИЧЕСКИ ОБОСНОВАННЫЕ МЕТОДЫ	24
2.3.1. Модель экспортных коэффициентов.....	25
ГЛАВА 3. ИСТОЧНИКИ ДИФФУЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТАМИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ СРЕДНЕГО ПРИОБЬЯ	34
3.1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ БАССЕЙНОВ	35
3.2. АНАЛИЗ ТЕРРИТОРИИ РЕГИОНА НА ОСНОВАНИИ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА ОБ АВАРИЙНОСТИ НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	44
3.2.1. Привязка источников загрязнения к карте административных районов.....	45

3.2.2. Привязка источников загрязнения к карте водосборных бассейнов.....	46
3.2.3. Анализ площадей загрязненных территорий, авариями на нефтедобывающих объектах, водосборных бассейнах и административных районах ХМАО.....	47
3.2.4. Подведение результатов анализа.....	49
3.3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ НАПРАВЛЕНИЯ ПОТОКОВ С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА	51
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	64
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	66

ВВЕДЕНИЕ

Одним из показателей, по которому можно судить о экологической ситуации в регионе является состояние его водных объектов. Согласно исследований, проводимых на р. Дунай в 1994 году, было определено что в загрязнении акватории, не малую роль играют именно диффузные источники загрязнения. Их доля может составлять до 60% общей нагрузки по отдельным загрязняющим веществам [25].

Ханты-Мансийский автономный округ-Югра (ХМАО) является крупнейшим регионом по объемам добычи углеводородного сырья в России и одним из мировых лидеров по объемам добычи в целом. Для обеспечения больших объемов добычи ведется регулярная разработка новых месторождений и требуется постоянно развивающаяся инфраструктура, которая предполагает отсыпку дорог, строительство нефти и газопроводов. Следствием постоянного развития отрасли является загрязнение территорий, обусловленное аварийностью на нефтепромысловых объектах. Большой процент аварийности приходится на объекты давно эксплуатируемых месторождений. Ежегодно в регионе происходят тысячи аварий, приводящие к разливам нефти, воднонефтяных эмульсий и подтоварной воды. Эти разливы представляют собой масштабные источники диффузного загрязнения водных объектов. Существует гипотеза что диффузные источники загрязнения являются одной из главных причин ухудшения качества поверхностных и грунтовых вод, потому что обладают способностью миграции под влиянием осадков.

Через территорию ХМАО, протекает р. Обь, одна из самых водоносных рек России. Часть питания р. Оби формируется в бассейнах рек – притоков, таких как р. Вах, р. Ватинский Еган, р. Большой Балык и др. Экологическое состояние бассейна р. Оби имеет мировое значение, потому что ее воды образуют Обскую губу, крупнейший залив Карского море, которое является частью Северного Ледовитого океана. По данным ежегодного доклада Министерства природных ресурсов и экологии РФ в 2020 г. «О состоянии и об

охране окружающей среды в РФ», р. Обь второй год подряд занимает первое место в списке самых загрязненных рек России. Именно поэтому, выявление и регулирование источников диффузных загрязнений нефтепродуктами в крупнейшем нефтедобывающем регионе является актуальной задачей для оценки качества поверхностных вод.

Научная новизна работы заключается в инвентаризации основных источников диффузных загрязнений на водосборах рек Среднего Приобья в границах ХМАО.

Цель исследования: Выявить территории с наиболее вероятной нагрузкой на водные объекты от диффузных источников загрязнения нефтяными углеводородами.

Объект исследования: Бассейны рек Среднего Приобья.

Предмет исследования: Вероятные диффузные источники загрязнений нефтяными углеводородами.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. Обозначить понятие «Диффузных источников загрязнения»;
2. Рассмотреть применимость методов оценки диффузных источников загрязнения для природных условий Среднего Приобья;
3. Провести инвентаризацию диффузных источников загрязнений на территории водосборов рек притоков Оби в Среднем её течении. Проанализировать открытые данные об аварийности на нефтяные месторождения региона;
4. Предложить модель визуализации направления потоков загрязняющих веществ смываемых с территории водосборов, основанной на цифровой модели рельефа.

Защищаемые положения:

- Инвентаризация территории на основании данных мониторинга аварийности на нефтяных месторождениях указывает что наибольшее количество источников диффузного загрязнения водных объектов приурочено

к Нижневартовскому и Нефтеюганскому районам, бассейнам р. Вах, Аган, Тромъеган, Большой Балык и Большой Салым;

- Представленная модель визуализации направления потоков загрязняющих веществ, является эффективным методом оценки влияния диффузных источников загрязнения на водные объекты Среднего Приобья.

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения, библиографического списка и пяти приложений. Работа представлена на 68 страницах печатного текста, включая 22 рисунка, 5 таблиц. В приложениях 1-5 представлен картографический материал по теме исследования.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В представленной главе выпускной квалификационной работы, рассмотрены общие термины, которыми мы будем оперировать в дальнейшем исследовании поставленных нами задач.

В частности, представлены существующие классификации источников загрязнений и сформулированы общие положения о загрязнениях водных объектов. Подняты исторические факты, давшие старт развитию темы исследования диффузного загрязнения стока и проблем их учёта и контроля.

1.1 КЛАССИФИКАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Для более полного понимания рассматриваемого вопроса в дальнейшей работе предлагаю обозначить определение приведенных ниже понятий, которыми мы собираемся оперировать на протяжении работы. При обозначении понятий опираться будем на работу [25].

Точечные источники загрязнения – источники загрязнений со стабильным и постоянным расходом и концентрацией сброса загрязняющих веществ. Данные источники имеют точно установленные места сброса загрязнений в окружающую среду. Объёмы сбрасываемых загрязняющих веществ от таких источников, почти не подвержены влиянию метеорологических факторов.

Примером подобных источников загрязнения водных объектов, могут послужить: сточные воды, сливные трубы.

Диффузные источники загрязнения – источники загрязняющих веществ с неорганизованной структурой поступления, характеристики которых, подвержены сильным изменениям. Характеризуются динамичностью образования и распределения, подвержены большому количественному изменению, под влиянием метеорологических факторов, в особенности, режима выпадения атмосферных осадков. Носят не регулярный характер воздействия на окружающую среду. Компонентный состав таких загрязнений

весьма динамичен. Часто источники загрязнения не могут быть идентифицированы или определены явно, поэтому с точки зрения регулирования водных систем они представляют наибольший интерес.

Примером диффузных источников загрязнения могут послужить утечки горючего из подземных резервуаров нефти, аварийные разливы нефти и подтоварной воды, смыв дорожной пыли в результате ливня через ливневые стоки, атмосферное выпадение загрязняющих веществ.

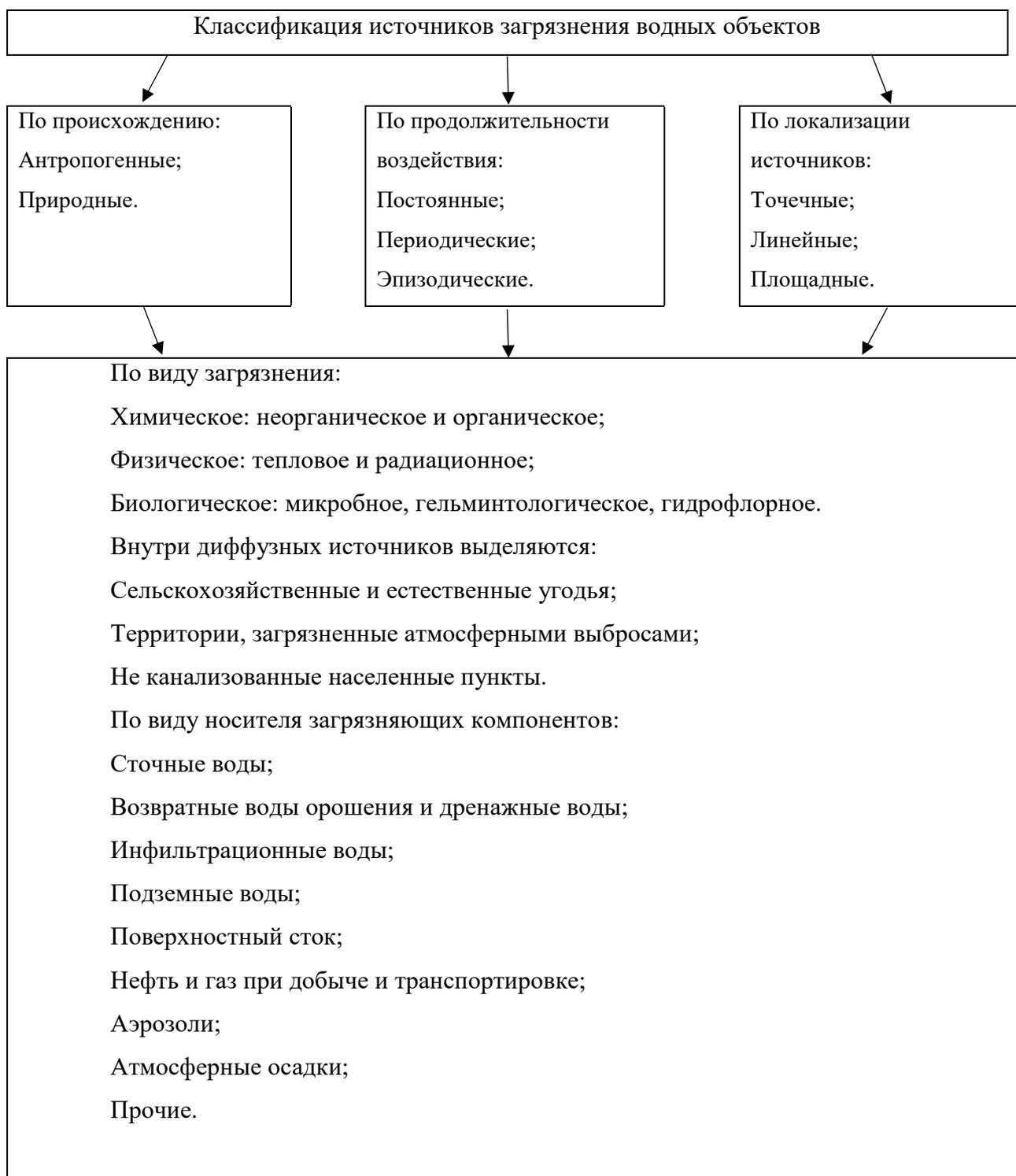
Далее в работе будут рассматриваться *рассредоточенные, неточечные и не декларируемые источники*, которые сводятся к единому определению - *диффузные источники*.

Более полная классификация источников загрязнения, по их параметрам представлена в таблице 1.

Определяя локализацию источников, отдельно стоит выделить площадные источники, обычно также называемые диффузными. Это связано с тем что, при локализации таких источников загрязнения, в зависимости от масштаба аварии, они способны к аккумулярованию и образованию уже диффузных загрязнений в слое поверхностного стока.

Селитебные территории, отвалы, карьеры одновременно являются источниками сосредоточенных и диффузных стоков. Основная трудность при анализе диффузных стоков – это их нестабильность, сопряженная с сезонной неравномерностью водных источников и режимов.

Классификация источников загрязнения водных объектов [составлено автором,
на основании данных из [25]]



1.2 ИСТОРИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ВОПРОСА ВЛИЯНИЯ ДИФФУЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Нефтегазодобывающие объекты, располагающиеся на протяженных территориях, являются активными и масштабными источниками диффузного загрязнения водных объектов. На данный момент существует большое количество методов изучения вопросов формирования стока и взаимодействия поверхностных вод с подземными, изучения качества этих вод, но роль диффузной составляющей в формировании загрязнения поверхностных водных объектов, в каждом отдельном регионе, пока что не изучена достаточным образом.

Даже с учетом того что, в 1970-1980-е годы ограничение и контролирование экологически вредных выбросов предприятий и углубленный анализ сточных вод на очистных сооружениях были основополагающими направлениями водоохраной политики в нашей стране, мы не сумели добиться существенного улучшения качества поверхностных вод, это может объясняться значительными нагрузками на водные объекты от неточечных источников загрязнений. Глобальное изучение на государственном уровне проблематики фиксирования рассредоточенных загрязнений впервые было предпринято в 1987г., Конгрессом США, в редакции федерального закона «Clean Water Act» (Закон о чистой воде), в данном законе, именно сбору информации о диффузных источниках загрязнений отводилось особенное место. Согласно проведенным исследованиям, на водохранилищах и озерах США в 76% случаев, качество вод которых не удовлетворяло принятым национальным стандартам, главными факторами загрязнений были именно диффузные источники. Схожая ситуация была выявлена и на других видах водных объектов: 45% эстуариев и 65% рек с некачественными водами были подвержены в основном диффузному загрязнению [4]. Исходя из выше перечисленного становится очевидно, что экологический мониторинг, по крайней мере мониторинг водных ресурсов, находится к сожалению, на более

низком уровне, чем в странах Европы и США, но даже в странах с более развитым природоохранным законодательством, большая доля загрязнений водных объектов приходится именно на диффузные источники.

Недостаточно изученные территориальные особенности формирования диффузного стока нуждаются в дополнительных исследованиях, в особенности нормирований и учета антропогенного воздействия на речные водосборы с доминирующим сельскохозяйственным и нефтедобывающим использованием. [2; 3].

1.3 ПРОБЛЕМАТИКА УЧЕТА ДИФFUЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Схема поступления загрязнений в водные объекты от диффузных источников загрязнения довольно прозрачная (Рисунок 1). Интенсивность проявления разнообразных факторов зависит от индивидуальных особенностей каждого отдельного водосбора.

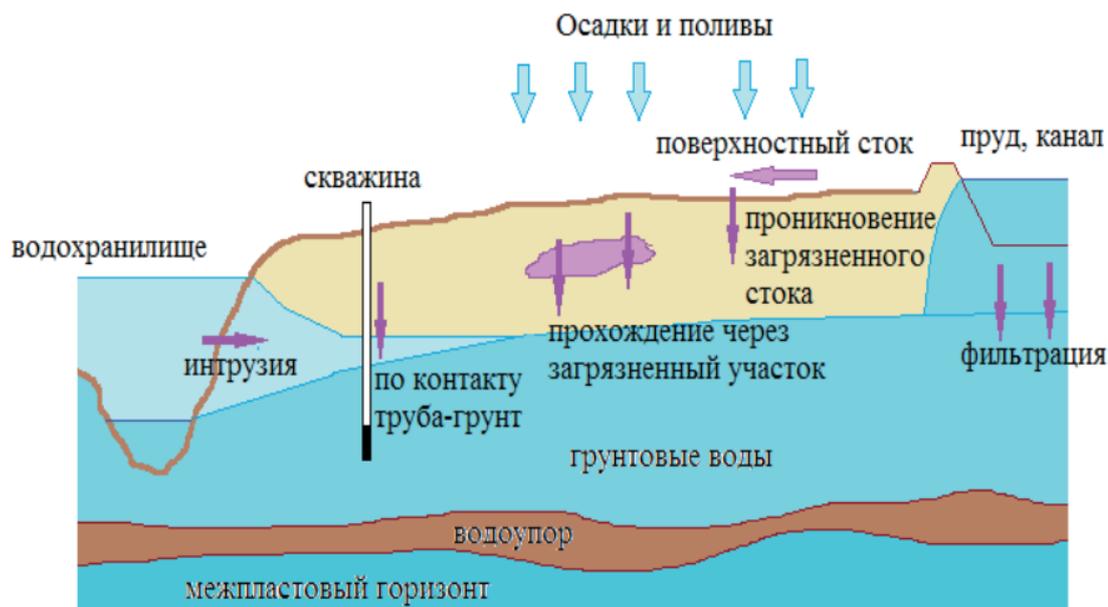


Рис. 1. Схема поступления загрязнений в подземные горизонты водных объектов нефтедобывающих районов [25]

Опираясь на изображение, можно заключить что, поверхностные и подземные воды являются главными приемниками вымываемых веществ. Вначале формируется поверхностный сток и под влиянием осадков, он проходит через толщу образовавшегося источника диффузного загрязнения. Затем одна часть загрязнения попадает в водохранилище совместно с поверхностным стоком, вторая часть переходит в грунтовые воды и оказывает влияние на водосбор, за счет водной интрузии, или же вымывается из грунтовых вод сезонно-талыми водами.

Грунтовые воды питают поверхностные водные объекты, в частности малые реки, которые наиболее интенсивно используются в хозяйственной деятельности, следствием такого использования является ухудшение качества вод. Таким образом, проявляется опосредованное влияние человеческой деятельности на окружающую среду.

Согласно мнению авторов [5], провести классификацию рассредоточенных источников загрязнений возможно, даже на основе землепользования, представляя рассредоточенные источники загрязнения как отдельные виды хозяйственной деятельности.

Таким образом, была построена таблица в которой были классифицированы виды хозяйственной деятельности, характерный для рассредоточенных источников в Таблице 2.

Таблица 2

Влияние видов хозяйственной деятельности на образование рассредоточенных источников загрязнения водных объектов [25]

№ п/п	Категория диффузных источников	Примеры хозяйственного землепользования
1	Сельское хозяйство	Растениеводство, животноводство, пастбища, кормопроизводство
2	Лесное хозяйство	Лесозаготовки, дороги, лесоводство

3	Строительство (в т.ч. дорожное)	Автострады, строительство мостов и путепроводов, капитальное и жилищное строительство
4	Городские территории	Ливневые канализации, (раздельные / полураздельные) поверхностный сток, маломерный флот
5	Добыча полезных ископаемых	Карьерные и шахтные выработки, драги и земснаряды, шахтные и обогатительные отвалы
6	Полигоны	Отстойники, поля орошения, санитарные системы, свалки твердых отходов, полигоны биодеструкции
7	Гидротехническое строительство	Береговые сооружения, сооружение дамб, плотин, каналов и шлюзов
8	Прочие	Атмосферные выпадения, локальные загрязнения, аварийные разливы жидких загрязняющих веществ, утечки из хранилищ

Режим попадания загрязняющих веществ в водные объекты определяются причиной и сопутствующими факторами. Вещества из почвы вымываются при выпадении осадков и снеготаянии. Под влиянием этих двух факторов формируется поверхностный и подземный сток, его формирование так же определяется интенсивностью осадков и снеготаяния. С учетом выше перечисленного можно сформулировать факторы (Таблица 3), определяющие режим вымывания загрязнителей из почв.

Большое количество факторов, обуславливающих вымывание, являются одной из причин сложности учета, контроля и нормирования диффузных источников загрязнений.

Основные виды нагрузки на водные объекты от диффузных источников представлены:

1. Пестицидами
2. Токсическими органическими соединениями
3. Нетоксическими органическими соединениями
4. Металлами
5. Аммонийными соединениям
6. Хлоридами

7. Другие неорганические соединения
8. Биогенные-элементы (азот и фосфор)
9. Кислыми водами (с низким рН)
10. Взвешенными веществами
11. Сильно минерализованными водами
12. Патогенными организмами
13. Радионуклидами
14. Нефтепродуктами и маслами

Таблица 3

Факторы диффузного загрязнения стоков [составлено автором]

Климатические	Почвенные	Гидрологические	Гидрогеологические
<ul style="list-style-type: none"> - осадки - испарения - сумма положительных температур - снеготаяния - снеготаяния 	<ul style="list-style-type: none"> - тип почв -гранулометрический состав - содержание гумуса - подверженность эрозии - плотность агрегатов и межагрегатное сцепление - коэффициент уплотнения - влажность почв 	<ul style="list-style-type: none"> - рельеф территории водосбора -уклон водосбора - структура землепользования на водосборе - озерность - заболоченность - модуль поверхностного стока 	<ul style="list-style-type: none"> - глубина залегания грунтовых вод - коэффициент фильтрации - модуль подземного стока
Агрохимические	Агротехнические	Биологические	Гидромелиоративные
<ul style="list-style-type: none"> - система удобрений - средства защиты растений -средства химической мелиорации почв 	<ul style="list-style-type: none"> - система удобрений - средства защиты растений - средства химической мелиорации почв 	<ul style="list-style-type: none"> - вид с./х. культур -тип и вид севооборота 	<ul style="list-style-type: none"> Орошение: - способ полива - интенсивность подачи воды - оросительные нормы - режим подачи воды

Продолжение таблицы 3

			- вторичное засоление Осушение: - норма осушения -глубина заложения дренажа
--	--	--	--

1.4 МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ВЛИЯНИЯ ДИФFUЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

При классификации водоохраных мероприятий, сопряженных с диффузными загрязнениями, стоит выделить мероприятия, влияющие на формирование загрязняющих стоков и мероприятия, воздействующие на водные объекты. Схема мероприятий представлена в Таблице 4.

В мероприятиях по охране водных объектов включено и определение показателей эффективности принятых мер, регулируя которые, возможно достичь удовлетворяемого нормам качества вод. В качестве интегрального показателя можно использовать индекс загрязнений, либо его модификации. Одним из популярных вариантов с точки зрения проектирования, является коэффициент предельной загрязненности водного объекта ($K_{BO}^{пз}$) [8].

Подводя итоги литературного обзора, были выделены основные понятие и особенности отличающие диффузные загрязнения, приведено обоснование актуальности исследования и влияния диффузных источников на формирование стока. Так же, в ходе литературного обзора, были проведены классификации, согласно которых можно сделать следующие выводы применимые для нашей работы.

Проанализировав существующие мероприятия по снижению влияния диффузного загрязнения водных объектов, можно сделать вывод что, их не так уж много. Еще недавно, задача по исследованию диффузных источников

загрязнений, была сложно реализуемой в связи с отсутствием данных экологического мониторинга. Данная задача обусловлена ведением учета большого перечня факторов, влияющих на формирования диффузного загрязнения стока. В настоящее время, экологическое законодательство и развитие технологий мониторинга окружающей среды позволяет вести подобный учёт. На основании того, что подобный мониторинг окружающей среды, уже ведётся мы и будем рассматривать применимость новых методов учёта загрязнений в следующей главе.

Таблица 4

Комплекс водоохраны мероприятий направленных на сокращения последствий диффузных загрязнений [составлено автором на основании данных из [25]]



ГЛАВА 2. ОБЗОР МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ДИФFUЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

В данной главе исследовательской работы планируется рассмотреть и углубиться в методы оценки влияния диффузных источников загрязнения на общую составляющую загрязненности водосбора. Модели, представленные в этой главе, ещё совершенствуются, но уже сейчас находят все большую применимость в мире.

Для оценки объективности и сложности описываемых методов, они были классифицированы, также в главе приведены результаты, уже проводимых исследований, базирующиеся на представленных методиках.

Итогом главы являются, предварительная оценка применимости этих методик в рамках нашей работы, для формирования понимания того, какие методы моделирования можно применить для оценки влияния диффузных источников загрязнения нефтедобывающей промышленности, в данный момент в пределах границ ХМАО.

2.1 ЭМПИРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Эмпирические методы позволяют построить модели, основанные на статистическом анализе серий данных о мониторинге осадков, гидрологических данных и данных качества вод. Эти модели оценивают влияние перечисленные факторы на процесс загрязнения.

Процессы переноса и преобразования загрязняющих веществ в таких моделях не исследуется. Эмпирические формулы устанавливаются с помощью регрессионного анализа данных о нагрузке диффузных источников загрязнения и об атмосферных осадках. Как правило, структура водосбора, представленная в таких моделях, должна быть относительно простой, поскольку установленные отношения являются линейными.

Примером работы, основанной на такой модели, может служить научная статья «Analysis of Nonpoint Source Pollution and Water Environmental Quality Variation Trends in the Nansi Lake Basin from 2002 to 2012» (Анализ рассредоточенных источников загрязнения и изменения тенденций качества окружающей водной среды в бассейне Нанси с 2002 по 2012 год). В рамках данной работы китайские ученые, из Shandong Normal University анализируют данные об экономическое развития региона и качества вод оз. Nansi (Нанси) в период с 2002-2012 г. Результаты показали, что загрязнение воды в бассейне озера Нанси в основном произошло из-за загрязнения бассейна из неточечных сельскохозяйственных источников, на долю которых приходится более 80% общего загрязнения. На долю сельскохозяйственных удобрений, и пестицидов приходится более 85% [13].

Авторы вносят поправку поясняя, что все загрязнения в бассейн оз. Нанси поступают за счет рек, питающих его. Приведенные в работе данные, основывались на стратегии борьбы с загрязнениями, которая была введена в Китае с начала 2002 г. «Лечение, утилизация и реставрация». Стратегия предполагала мониторинг данных о выбросах предприятий в окружающую среду. Авторам удалось получить статистические данные о выбросах загрязняющих веществ в бассейне озера Нанси в течение 2002 ~ 2012 гг. Исходя из имеющихся данных они смогли рассчитать данные потерь сельскохозяйственных загрязнителей, выбросы загрязняющих веществ с точечных источников, потерю поголовья скота и множество других данных. Благодаря анализу выбросов в различных отраслях промышленности легко прослеживается, что загрязнение водной среды в бассейне оз. Нанси, в основном, обусловлено загрязнением сельскохозяйственной продукции из неточечных источников, что составляет порядка 87-93% от общего загрязнения [16].

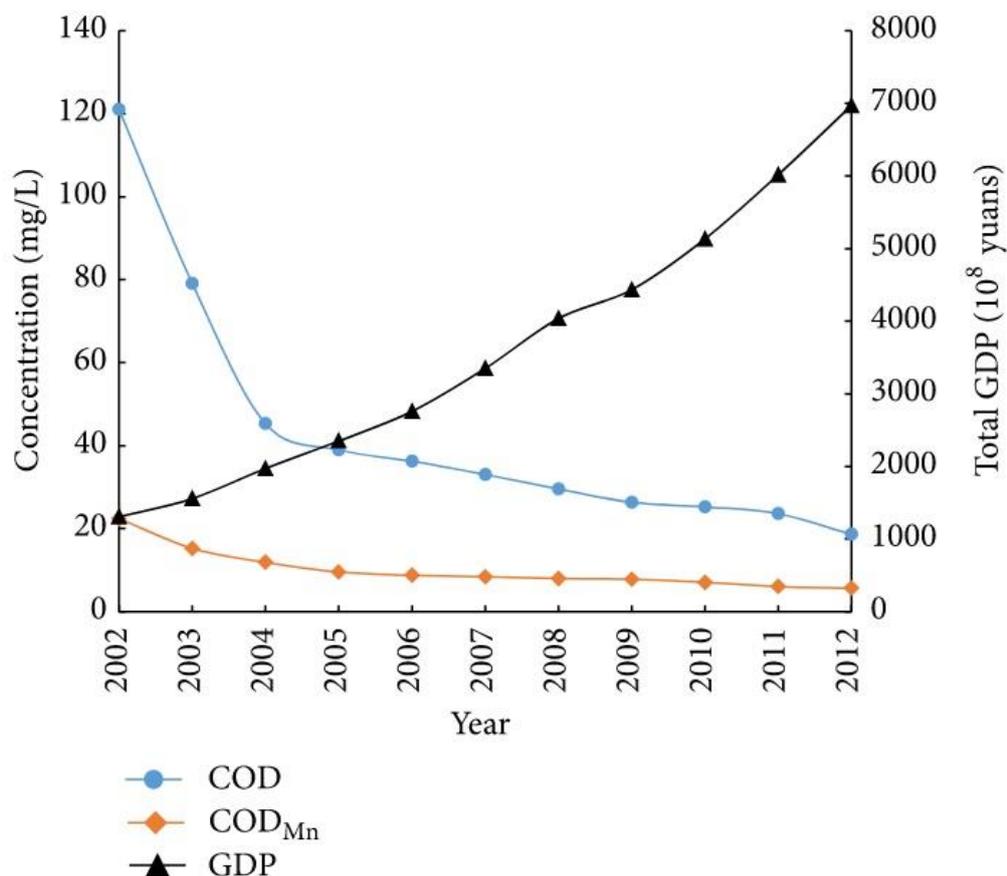


Рис. 2. Изменение тенденции качества воды и ростом ВВП в бассейне озера Нэнси в период за 2002-2012 г. [16]

2.1.1. Модель разделения основного стока (BFSM)

Модель разделения основного стока (BFSM) разделяет речной сток на основной сток, который является долговременным и устойчивым, и на направленный сток, который формируется под воздействием атмосферных осадков [7]. Как отделить основной сток? Всего можно выделить несколько методов: метод линейного деления, метод нелинейного деления, метод гидрологического моделирования, метод водного баланса В.М. Калинина, метод цифровой фильтрации [8].

Следует отметить, что эти подходы не имеют какой-либо физической или гидрологической основы, но направлены на создание объективного и воспроизводимого показателя, который может отражать реакцию основного водотока на рассредоточенное загрязнение. Базовая модель разделения стока

предполагает, что направленный сток, обусловленный осадками в паводковый сезон, является основным источником диффузного загрязнения. В сухой сезон загрязнение в основной сток обычно попадает из точечного источника. Поток основного стока считается устойчивым в течение всего года. Суммарную нагрузку загрязнений, переносимую в реки, можно записать в виде (1):

$$L = L_p + L_{np} = \int_0^1 [C_p(t)Q_p(t) + C_{np}(t)Q_{np}(t)]dt, \quad (1)$$

Где L – общая загрязняющая нагрузка на реку;

L_p – загрязнения от точечных источников;

$C_p(t)$ – концентрация загрязнения точечного источника;

$Q_p(t)$ – основной сток;

$C_{np}(t)$ – концентрация загрязнения неточечных источников;

$Q_{np}(t)$ – направленный сток.

При отсутствии данных непрерывного мониторинга уравнение (1) записывается в дискретной форме (2):

$$L = L_p + L_{np} = \sum_{i=1}^n C_i Q_i \Delta t + \sum_{i=1}^n C_{pi} Q_{pi} \Delta t \quad (2)$$

На основании многолетних данных гидрологического мониторинга и мониторинга качества воды общая загрязняющая нагрузка на реку рассчитывается по формуле (3):

$$L = \sum_{i=1}^n C_i Q_i \Delta t \quad (3)$$

Наконец, нагрузка загрязнения от диффузных источников равна, разности общей загрязняющей нагрузке на реку и загрязнений от точечных источников, которая записывается как (4):

$$L = L_p + L_{np} = \sum_{i=1}^n C_i Q_i \Delta t - \sum_{i=1}^n C_{pi} Q_{pi} \Delta t \quad (4)$$

Модель была проверена Li и др. В 2010 году на водосборном бассейне реки Dongjiang, Китай и показала, что 67% нагрузки на ХПК происходит от загрязнения не точечными источниками, в период между 2000 и 2005 гг. Кроме того, Lu и др. Обнаружили, что выброс нитратов из основного стока был значительно выше, чем с поверхности прямого стока в водоразделе реки Changle, Китай [9].

2.1.2. Модель накопление осадков

Модель накопления осадков основана на установлении взаимосвязи между осадками и диффузными загрязнением, в данной модели игнорируется процесс гидрологической разделения и влияние точечного источника загрязнения [10], который можно записать в виде (7):

$$L_n = \int(R) , \quad (5)$$

$$L_p = C , \quad (6)$$

$$L = L_n + L_p = \int(R) + C , \quad (7)$$

где L_n - загрязнения от рассредоточенных источников;

$\int(R)$ - функция количества осадков R .

L_p – загрязнения от точечных источников, которая учитывают, как постоянную (6) за длительный промежуток времени.

При расчете учитывается, разница между данными за любые два года от общего загрязнения и атмосферных осадков (8):

$$\Delta L + L_i - L_j = \int(R_i) + C - \int(R_j) - C = \int(R_i) - \int(R_j) = \int(R_i - R_j) = \int(\Delta R) , \quad (8)$$

где индексами i и j обозначается разные года.

Разность между константу – C и общую нагрузку от загрязнений - ΔL , можно рассматривать как нагрузку от неточечного источника загрязнения, вызванного разницей осадков.

Данный регрессионный анализ устанавливает прямую взаимосвязь между рассредоточенного загрязнения и осадками. С точки зрения применимости и прогнозирования, точность будет лучше в обычный год, чем в года с преобладанием паводка или засухи.

2.1.3. Модель на основе искусственного интеллекта (ИИ)

Искусственный интеллект (ИИ) является одним из инновационных методов расчет и прогноз загрязнения как часть подхода, основанного на данных. Искусственный интеллект в своих методах анализа использует такие методы как: искусственные нейронные сети (Artificial neural networks), нечеткая логика и метод (fuzzy logic) и метод опорных векторов (SVM) [11;12].

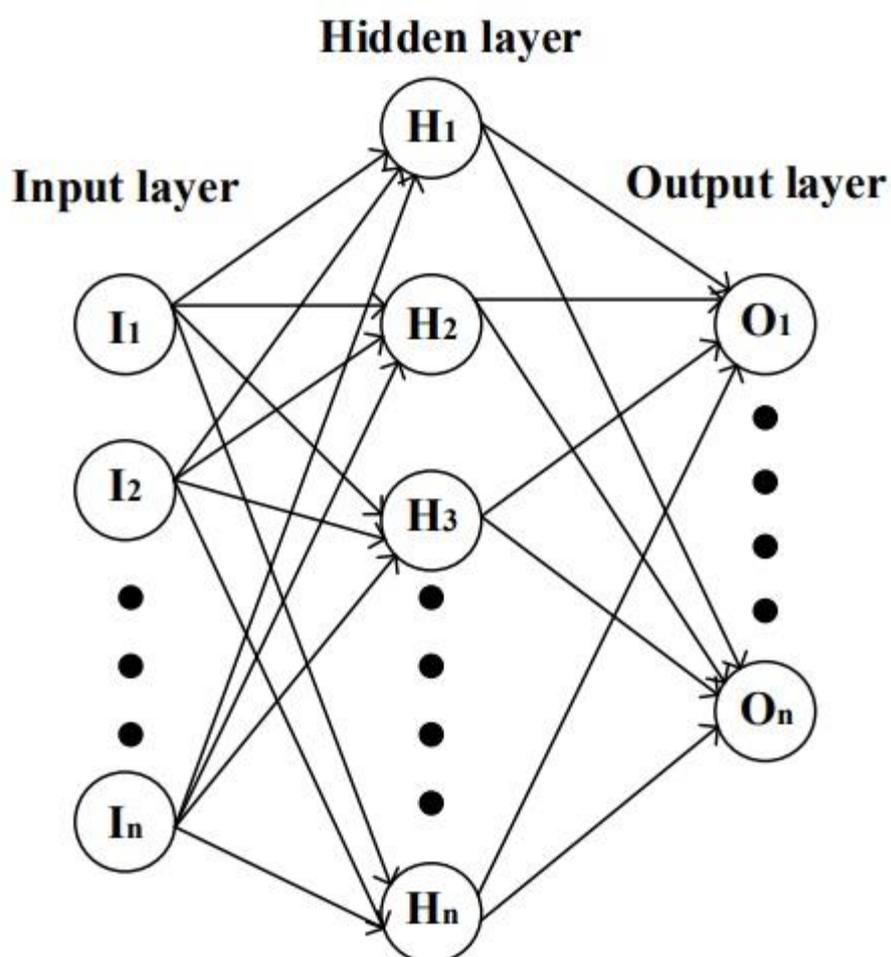


Рис.3. Иллюстрация работы искусственной нейронной сети [составлено [24]]

Искусственные нейронные сети - это комплексные очень сложные составные функции с возможностью вычисления нелинейных задач [13]. Нейронные сети широко применялись для прогнозирования качества воды и загрязнения во всем мире [14; 16]. Модель на основе искусственных нейронных

сетей обладает способностью к обучению, обработке, творчеству и гибкости. Искусственная нейтральная сеть обычно состоит из трех слоев, включая входной слой, скрытый слой и выходной слой, показанный на Рисунке 2. Данные поступают в нейронные сети через входной слой и извлекаются через выходной слой после процесса, скрытого слоя. Сети могут быть классифицированы на 2-х слойную нейронную сеть (1 скрытый слой), 3-х слойную нейронную сеть (2 скрытых слоя) и сложную нейронную сеть из большого количества скрытых слоев. Количество нейронов в входном слое зависит от указанных задач и количества независимых переменных. Принимая во внимание, что выходной слой связан с зависимыми переменными. Каждый нейрон имеет входные и выходные соединения. Эти соединения имеют разную значимость, что означает, что значение, которое отправляется каждому соединению, умножается на этот весовой коэффициент. Чтобы выбрать лучшую и наиболее эффективную модель, статистический коэффициент корреляции и среднеквадратическая ошибка используются для оценки качества этой модели.

Общие входные факторы включают несельскохозяйственное население, ВВП, потребление воды, сброс сточных вод, степень очистки сточных вод и т.п. Результат будет различным, например, индекс загрязнения, концентрация загрязняющих веществ и так далее. Относительные модули уже разработаны и представлены в коммерческих программах.

Нечеткая логика (fuzzy logic) - это эффективный аналитический метод для решения не точно поставленных проблем, основанный на нечеткой логике. Наборы, которые выражают многоуровневый процесс среди значений от 0 до 1, предложенных Lotfi Askar Zadeh в 1965 году. Они использовались для оценки качества воды вместо прерывистого четкого набора [17; 18].

Структура нечеткой логики включает в себя фаззификатор, базу правил и дефаззификатор. Наблюдаемые (реальные) данные поступают в логику через фаззификатор и преобразуются в нечеткую форму с помощью функции принадлежности, которая называется фаззификацией. Модель нечеткой логики

преобразует дискретный критерий оценки качества воды в непрерывную форму, которая является перспективной для оценки устойчивости экосистемы [19]. Данная модель часто используется в ГИС, например, ArcGIS PRO.

Базовая концепция Метода опорных векторов (SVM). Основная идея метода заключается в построении гиперплоскости, разделяющей объекты выборки оптимальным способом. Алгоритм работает в предположении, что чем больше расстояние (зазор) между разделяющей гиперплоскостью и объектами разделяемых классов, тем меньше будет средняя ошибка классификатора. В сравнении с другими методами доказано, что результаты прогнозирования SVM выполняются лучше только в некоторых случаях [20]. Поэтому данную концепцию не рассматриваем далее.

2.2 ФИЗИЧЕСКИ ОБОСНОВАННЫЕ МЕТОДЫ

Многообещающим инструментом для моделирования поведения загрязнителей в пределах водосборных бассейнов могут быть физически обоснованные модели. Эти модели вместе с подробными математическими описаниями эрозии почв, дождевых стоков, переноса загрязняющих веществ и процессов трансформации обеспечивают пространственное и временное представление о загрязнении водосборного бассейна. Эти процессы в массообмене, импульсе и энергии моделируются с использованием дифференциальных уравнений в частных производных, которые рассчитываются с помощью численных методов, таких как уравнения Сен-Венана для поверхностного стока, уравнение Ричардса описывающее влагоперенос в зоне аэрации, уравнение Пенман-Монтейта для аппроксимации чистого испарения, уравнение Буссинеска для потока подземных вод и уравнение Энгелунда-Хансена для пропускной способности отложений. Гидрологический процесс можно моделировать, не только выявляя процесс переноса и трансформации, а также оценивая водную среду. Следовательно, эти модели широко применялись в мире и достигли желаемых результатов.

Популярные модели для расчета NPS, AnnAGNPS, HSPF, SWAT и SWMM, ANSWERS и т. д.

Масштабы применения, входная и получаемая информация, моделируемые типы загрязняющих веществ и требуемая точность данных физических моделей могут быть разными и применяются в большом количестве задач. Соответствующая информация подробно изложена в Таблице 1 (Приложение 1).

Эти модели требуют огромных данных, в основном включая метеорологические данные, данные о почве, земной покров, цифровую модель рельефа (ЦМР) и историко-гидрологические данные, данные о качестве воды. Регионы, в которых отсутствуют полноценные сети мониторинга, не подходят для этих моделей. Для применимости этих моделей к таким регионам, исследователям придется уделять больше внимания к таким регионам.

Например, с помощью функции «Burn in» в ArcGIS модели могут выделить суб-бассейны и точно сформировать линии рек даже в плоской равнинной области [21].

2.3.1. Модель экспортных коэффициентов

Следующая работа «Method for calculating non-point source pollution distribution in plain rivers» была выполнена группой ученых китайского университета Hohai University, на примере Zhihungang water system [24], (Рисунок 4).

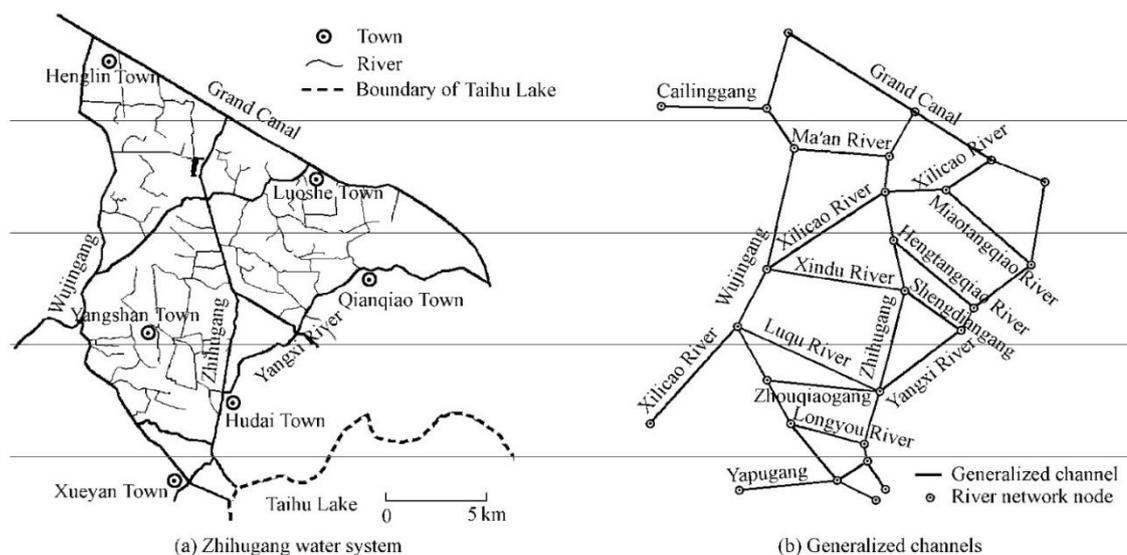


Рис.4. Изучаемая область [составлено [24]]

В этой работе описывается исследование водной системы в Zhihungang, в которой разделили земельную площадь на 17697 ячеек и рассчитали поступление рассредоточенных источников загрязнения из каждой реки, используя такую информацию, как условия землепользования и различные коэффициенты экспорта для загрязнителей в различных типах землепользования [21].

В этом исследовании была принята модель коэффициентов переноса для расчета среднегодового загрязнения от диффузного источника в каждой ячейке. Модель учитывает взаимосвязь между поступлениями диффузных источников загрязнения и типами землепользования, которая определяется непосредственно типами землепользования и коэффициентами экспорта.

Выражение:

$$L_j = \sum_{i=1}^n \alpha_{ij} A_i \quad (9)$$

где L_j - общая нагрузка от загрязняющего вещества j ;

n - количество типов землепользования;

A_i - площадь типа землепользования i в ячейке расчета;

α_{ij} - коэффициент переноса загрязняющего вещества j из типа землепользования i .

Среднегодовое производство различных загрязняющих веществ в любой клетке может быть рассчитано по формуле (9). Основные этапы построение модели пространственного распределения загрязнения неточечными источниками в ГИС:

1. Выявление загрязненных ячеек и расчёт кол-ва загрязнения от каждого источника;
2. Разбитие всей области на ячейки размерами 100 на 100 м. Каждая квадратная ячейка сетки должна представлять собой базовую единицу земли;
3. Объединение слоя границ водных объектов, со слоем участков недропользования;
4. Среднее поступление отдельных видов загрязнений в каждой ячейке сетки можно рассчитать по формуле (9).
5. Разделения всей исследуемой территории на подрайоны, для более точного анализа;
6. При расчете, участки недропользования на границах подрайонов следует разделить на два участка различной длины с учетом различных факторов, включая:
 - Длину зоны, составляющих речную сеть;
 - Функциональное зонирование водной среды;
 - Точность контроля качества водных объектов;
 - Расположение пунктов контроля качества воды.

Результатом будет соответствующая зависимость между ячейками в которых произошел выброс диффузных загрязнений и ячейками источниками диффузного загрязнения, полученная по каждому подрайону.

Принцип соседства

Загрязнения диффузными источниками с поверхности земли в конечном итоге, будут попадать в конкретный близлежащий район, поэтому загрязнение диффузными источниками должно быть распределено в пределах досягаемости по определенным критериям. Теоретически эти критерии должны основываться на: направлении дождевого стока с территории суши, представленное

окружностями и привязанное к местности (имеется в виду рельефу и уклонам), направление потоков вдоль пойм рек и направление поверхностного стока, связанное с картой уклонов и расчетом скорости, в совокупности всё это должно представить объективную картину. Однако местность в равнинной речной сети - плоская, и изменение наклона не может быть количественно определено на небольшом пространстве. Таким образом, область, в которую будут попадать загрязнения с поверхности, не может быть определена в зависимости от типа местности. Для типов такого рельефа, чтобы справиться с расчетом загрязнения из неточечных источников продвигается принцип ближайшего соседства: дождевой сток и загрязнение из неточечных источников из наземной ячейки попадают в ближайшую досягаемость. Соответствующая связь между экспортной ячейкой загрязнения и близлежащими территориями может быть определена с помощью этого принципа. Хотя этот принцип не учитывает местность, он отражает максимальное математическое ожидание.

Определение направления миграции загрязнения

На рисунке 5 показана взаимосвязь местоположения между экспортной ячейкой и ее соседними участками. Минимальные прямолинейные расстояния между геометрическим центром ячейки и ближайшей точкой в поддиапазонах могут быть рассчитаны и помечены как $d_1, d_2, d_3 \dots d_n$, где n - число подрайонов, окружающих сетки. Если среди них есть минимальное значение, то подрайон - это радиус поступления, в который попадают дождевые стоки и диффузные загрязнения из ячейки. Очевидно, что загрязнение, выбрасываемое экспортной ячейкой, (Рисунок 5), должно попадать в подрайон $k + 1$.

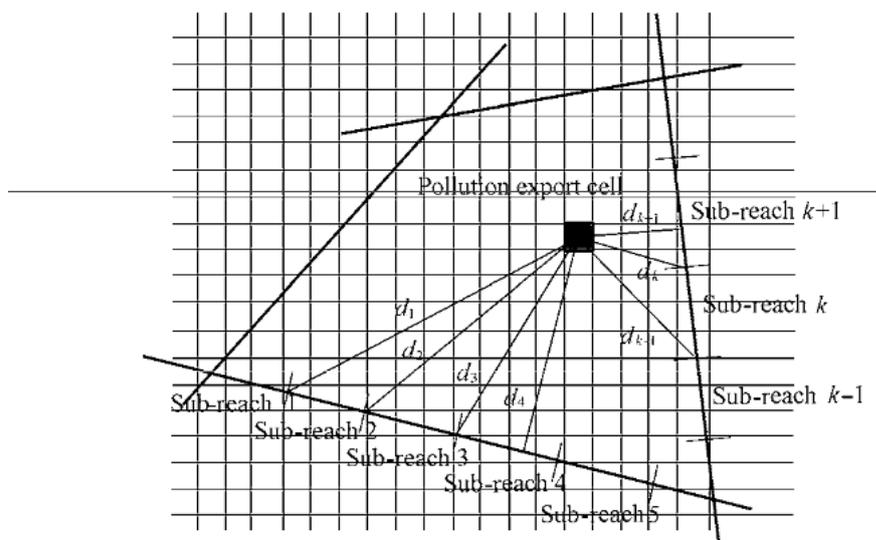


Рис.5. Положения загрязняющей экспортной ячейки и подрайонов.

Экспортировать совокупность ячеек подрайонов [21]

С помощью этого метода можно определить атрибутивные отношения между каждой ячейкой сетки и подрайоном. Затем совокупность экспортных ячеек из каждого подрайона, может быть обработана в соответствии с атрибуцией, а общее количество ячеек сетки в разных типах землепользования может быть получено и помечено как $M_1, M_2, M_i \dots M_n$.

где, M - является общим числом ячеек сетки в типе землепользования - i , из которого ливневый сток и загрязнение диффузными источниками попадают в подрайон, где индекс n - равен числу подрайонов в исследовании.

С помощью этого метода, можно получить количество и площадь ячейки сетки с одним и тем же типом землепользования, благодаря которым можно узнать разовое кол-во сбрасываемых загрязняющих веществ диффузным источником загрязнения в каждой ячейке. Кроме того, полученные значения, можно просуммировать для получения общего количества загрязнений и площади ячеек сетки с одним типом землепользования, из которых загрязнение диффузными источниками будут переноситься в рамках поддиапазона одного речного канала. На рисунке 6 показана площадь суши, образованная ячейками сетки, из которых ливневый сток и загрязнение неточечными источниками попадают в один и тот же подрайон, и они обозначены блоками разных цветов.

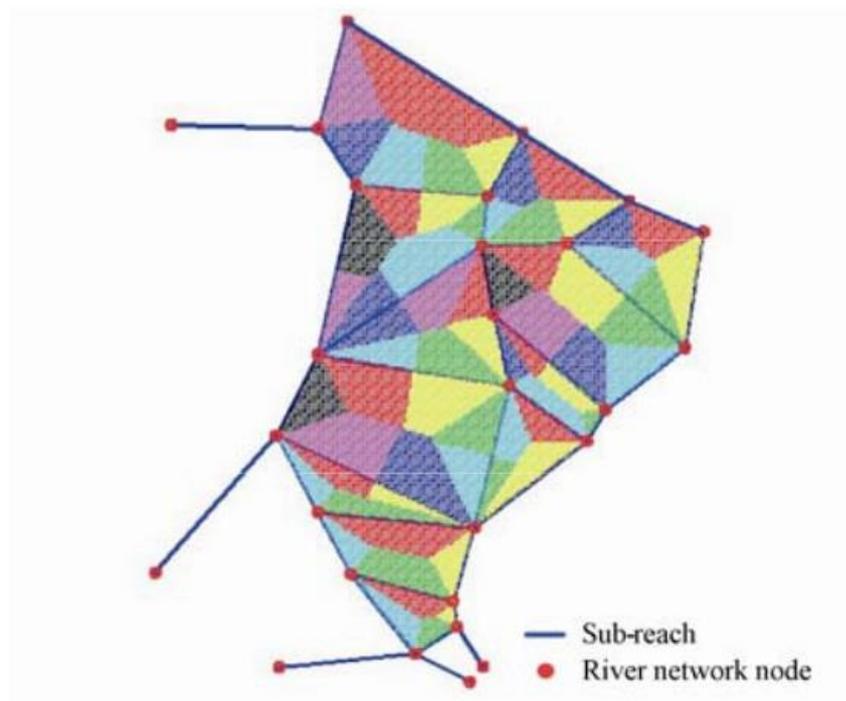


Рис.6. Исследуемый участок земли, разбитый на подрайоны. [21]

Коэффициент выбросов

Количественное определение индекс загрязнений имеет важное значение для использования модели коэффициентов выброса. Значение коэффициента выброса равно количеству загрязнения, производимого на единицу площади одного типа землепользования. Существует много факторов, которые могут повлиять на коэффициент выброса, включая рельеф поверхности, гидрологические характеристики, условия растительности и режим питания почвы.

Вывод результатов

Используя совокупность экспортных ячеек подрайонов и коэффициентов выбросов для различных типов землепользования, общее загрязнение от диффузных источников, полученное каждым участком, можно рассчитать следующим образом (10):

$$L_j = \sum_{i=1}^n \alpha_{ij} M_i s, \quad (10)$$

где s - площадь одной наземной ячейки.

Результаты расчета, определяют количество диффузных загрязнений от источника поступления, которое будет поступать непосредственно в приемные каналы рек. Применение данного метода, способствует выявлению основного источника диффузного загрязнения для каждого конкретного речного канала.

В заключении главы 2 отметим что в ней рассмотрены модели для расчетов нагрузок от диффузных источников загрязнения. Все представленные модели можно сгруппировать в три категории: Эмпирические модели, физические и модели экспортных коэффициентов.

Не все представленные модели для точечных источников загрязнения можно адаптировать для различных регионов исследования, особенно для регионов в которых отсутствуют адекватные данные экологического мониторинга.

Эмпирические модели могут прогнозировать уровень загрязнения путем анализа, опять же, длинной серии исторических данных о качестве вод. Результат анализа будет носить более статистический характер и возможно не будет отражать реальных условий загрязненности, потому что не учитывает перенос и преобразование загрязняющих веществ, географический фактор. Основным преимуществом подобных моделей являются не высокая требовательность к качеству данных экологического мониторинга региона, что характеризует их как наиболее применимые для нашей работы.

Физически обоснованные методы являются предпочтительными для моделирования в масштабе водосбора и моделирования процессов переноса и трансформации загрязнения, но и самыми затратными потому что требуют накопления большого массива данных о водосборах, источниках выброса загрязняющих веществ и их количествах.

В представленном обзоре методы, предложенные моделью экспортных коэффициентов кажутся наиболее адаптируемыми для различных регионов, особенно для тех, у кого нет адекватных данных точечного мониторинга, в её основе лежит использование ГИС. Из плюсов модели экспортных коэффициентов, можно отметить применимость на равнинный ландшафт и

применимость к районам с заболоченными территориями. Используя принцип близости, который имеет дело с распределением загрязнений диффузными источниками в близлежащих подрайонах, определяется отношение атрибуции между ячейками выброса загрязнения и близлежащими подрайонами. Описываемая методика, хорошо согласуется со следующими моделями:

1. Модели, описывающие относительные высоты и уклоны рельефа;
2. Модели, описывающие формирования дождевого стока;
3. Модели, формирующими направление потоков вдоль пойм рек и направление поверхностного стока.

Частично данные, по представленным моделям в ХМАО находятся, либо на стадии формирования, либо уже имеются. К таким данным можно отнести:

1. Данные расположения участков недропользования в пределах региона (имеются, но полный доступ к данным не распространяется);
2. Данные аварийности от нефтедобывающей отрасли (являются единственными количественными данными по диффузным загрязнениям от всех данных, по типам недропользования);
3. Данные о количестве осадков за каждый месяц года на протяжении нескольких лет, с каждой метеостанции, в пределах одного района (подобный мониторинг в ХМАО ведется, не по всем районам, но свободный доступ предоставляется только к усредненным данным по району/ городскому центру).

Стоит отметить, что не известно насколько метод экспортных коэффициентов применим в условиях вечной мерзлоты и низких температур. Данное условие, может потребовать формирование сезонных моделей.

К минусам модели экспортных коэффициентов, для нашей работы можно отнести невозможность учета всего спектра оказываемого влияния физических факторов. Метод фактически не называет количество диффузных загрязнений, попадающих в конкретный водосбор, вместо этого он атрибутирует все виды загрязнения по размеру ячеек и типу землепользования. Для каждого отдельного вида землепользования метод показывает соотношение влияния каждого вида загрязнения от предполагаемых диффузных источников в

пределах подрайона, района или области. Данные минусы не являются существенными недостатками этой методики, потому как полную объективность не представляет не одна из описанных выше моделей.

ГЛАВА 3. ИСТОЧНИКИ ДИФФУЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТАМИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ СРЕДНЕГО ПРИОБЬЯ

Согласно данным департамента недропользования и природных ресурсов ХМАО, на 2020 г. в пределах региона располагается 413 месторождений нефти и газа, в списке учтены и разрабатываемые месторождения. Карта с расположением месторождений и их классификацией по объёмам добычи представлена в Приложении 3.

Округ занимает лидирующую позицию по нефтедобыче в стране, на его долю приходится более 40% всей добываемой нефти в России. Наибольший объём извлечённой нефти на 2020 г. был получен на территории Сургутского, Нижневартовского, Нефтеюганского и Ханты-Мансийского районов. Среди всех месторождений, крупнейшими по объёмам добычи считаются Самотлорское, Мамонтовское, Фёдоровское и Приобское.

В данной главе будут подняты следующие вопросы. Какова экологическая ситуация в отдельных районах автономного округа с интенсивно развивающейся нефтегазодобывающей промышленностью? Бассейны каких рек попадают под наибольшее влияние от диффузных источников загрязнения? Где располагается основное кол-во источников диффузного загрязнения?

Первым шагом в рамках представленной главы является сбор и систематизация данных, для представления актуальной картины в регионе т.е. создание каталога потенциальных источников диффузного загрязнения. В частности, в каталоге было обозначено расположение основных населенных пунктов, контуры разрабатываемых месторождений, их количество и данные о мониторинге аварийности за пять лет (с 2016 по 2020 гг.). Дополнительно в каталоге были отражены данные о инфраструктуре района (классификация автодорог, железнодорожные пути, расположение речных портов и аэропортов и т.д.).

Следующим шагом в представленной главе, будет описание основных водосборных бассейнов Среднего Приобья, с попутным созданием карты

речной сети и водосборных бассейнов ХМАО (Приложение 5). Сбор информации и построение карт выполнялось программными средствами QGIS и компонентами SAGA. Для исследования была построена цифровая модель (Далее – ЦМР) рельефа ХМАО (Приложение 3) на водосборы рек правых притоков бассейна Среднего Приобья. Карта строилась на основе снимков спутника ASTER GDEM Version 3 имеющихся, в свободном доступе и топографических карт масштаба 1:200000. Карта позволяет делать опосредованные выводы о том, в каком направлении и будет мигрировать загрязнение от диффузных источников.

3.1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ БАССЕЙНОВ

Бассейн реки Обь

Среднее Приобье (от границы Томская область-ХМАО-Югра до границы ХМАО-Югра – ЯНАО) в качестве исследуемой территории было выбрано, не случайно. Река Обь, протекает с юга на север, имеет развитую речную систему, по водоносности и протяженности речной сети является одной крупнейших рек в России, в устье река образует залив под названием Обская губа, который впадает в Карское море. Карское море, является частью Северного Ледовитого океан, который является наименьшим по площади океаном Земли. Все загрязнения, образующиеся в бассейне р. Обь, будут переноситься именно в Северный Ледовитый океан, что делает вопрос о контроле диффузных источников загрязнения в регионе актуальным не только для России, но и для всего мира.

Расположение Бассейна р. Оби в работе представлен в карте речной сети и бассейнов ХМАО (Приложение 5). Русло реки было разбито на несколько составляющих частей:

- Пойма р. Оби (основное русло);
- Левобережье Оби, от восточной границы округа до Большого Югана;
- Левобережье, нижнего течения р. Оби от устья р. Иртыша;
- Правобережье Оби, междуречье р. Тромъеган и р. Вах;

- Правобережье Оби, междуречье р. Пима и р. Тромъегана;
- Правобережья Оби, между р. Лямин и р. Назым.

Всего в пойме р. Обь расположено 84 месторождения, из которых: 33 – готовящихся к эксплуатации, 31 - мелкие (менее 0,5 тыс.т./год), 6 - средние (0,5 - 1 тыс.т./год), 9 – крупные (1 - 5 тыс.т./год), 4 – крупнейшие (5 - 10 тыс.т./год) и 1 - уникальное (более 10 тыс.т./год). Всего за 5 лет на представленных месторождениях было выявлено 674 аварии с общей площадью загрязненных территорий 106,07 га. Также в пределах поймы р. Обь находится 34 речных порта, 1 аэропорт, 73 населенных пунктов из которых 6 являются районными центрами (Октябрьское, Нижневартовск, Ханты-Мансийск, Нефтеюганск, Сургут, Березово).

Бассейн реки Аган

Бассейн р. Аган находится в Среднеобской низменности, расположен в Нижневартовском и Сургутском районах, данные районы являются наиболее развитыми и перспективными в плане нефтяных и нефтегазовых месторождений. На территории расположены 1 аэропорт, 1 речной порт и 46 месторождений, из них: 16 – готовящихся к эксплуатации, 20- мелких (менее 0,5 тыс.т./год), 2 - средних (0,5 - 1 тыс.т./год), 7 – крупных (1 - 5 тыс.т./год) и 1 - уникальное (более 10 тыс.т./год). Подавляющая часть месторождений расположена по левой стороне бассейна, подавляющие большинство месторождений относительно новые и характеризуются небольшим объемом добычи, что снижает вероятность аварий в пределах района. (Приложение 4, 5).

За наблюдаемый период с 2016 по 2020 г. было выявлено 233 загрязнения от аварий нефтедобывающих объектах, общая сумма загрязнённых территорий равняется 31, 7343 га.

Бассейн реки Вах

Бассейн р. Вах находится в Среднеобской низменности Вахской низине. Река Вах протекает с востока на запад.

В бассейне Ваха открыты и эксплуатируются крупнейшие нефтяные месторождения – Самотлор, Вахское, Ининское. Лицензионные участки

нефтяных компаний занимают 55% площади долины в нижнем и среднем течении; на пойме, склонах и речных террасах развёрнута обширная инфраструктура нефтедобычи: отсыпки скважин, вахтовые посёлки, технологические площадки, автодорог, компрессорных станций; проложены трубопроводы. Самотлорское месторождение эксплуатируется с 1969 г. (в настоящее время – предприятием «Самотлорнефтегаз»), извлекаемые запасы составляют 2,7 млрд т. На пике эксплуатации добывалось 150 млн т нефти в год, сейчас – около 22 млн т. Вахское (начало эксплуатации – 1976 г.) и Ининское месторождения (эксплуатируются компаниями «Томскнефть» и «Славнефть») меньше по размерам, добыча составляет 200–300 тыс. т в год. Длительная разработка месторождений сопровождалась вырубкой лесов на больших участках, нарушением почвенного покрова, создание инфраструктуры – негативным воздействием на поверхностный и подземный сток. На территории бассейна располагаются месторождения из них: 9 – готовящихся к эксплуатации, 36- мелких (менее 0,5 тыс.т./год), 3 - средних (0,5 - 1 тыс.т./год), 2 – крупных (1 - 5 тыс.т./год), 1 – крупнейшее (5 - 10 тыс.т./год) и 1 - уникальное (более 10 тыс.т./год).

За период с 2016 по 2020 г. на территории водосбора было выявлено 559 случаев загрязнения от аварий нефтедобывающих объектов, общая площадь загрязнённых территорий равняется 60, 4262 га.

Бассейн реки Иртыш

Бассейн реки Иртыш представлен в ХМАО его нижней частью.

В бассейне Иртыша расположены 11 особо охраняемых природных территорий федерального значения и 514 – регионального значения общей площадью 4450,5 тыс. га в том числе два государственных заповедника, в связи с этим Бассейн Иртыша относительно слабо антропогенно нарушен. На территории бассейна имеется всего пять месторождений 4-е из них готовящейся к эксплуатации, одно крупное месторождение «Ханты-Мансийско-Фроловское» месторождение нефти и газа было зарегистрировано для разведки в четвертом квартале 2016 года. Оно лишь частично расположено на

территории бассейна в среднем течении р. Иртыш. Вторым возможным источником загрязнения рек может являться судоходство, которое весьма развито в этом районе. Показателем развитости служит большое кол-во пристаней вдоль берегов, их 18 штук.

Бассейн реки Большой Балык

Бассейн реки Большой Балык относится к Верхнеобскому бассейну. Находится в среднем течении, на левобережье реки Обь. Водосбор имеет развитостью речной структуры. Основными реками водосбора являются, Малый Балык, который протекает по западной части водосбора, и Большой Балык, протекающий с Юго-Восточной стороны водосбора. (Приложение 5).

Бассейн расположен на левобережье р. Обь. Большой Балык протекает по территории Нефтеюганского и Сургутского районов. На территории бассейна располагаются 31 месторождений нефти и газа из них: 1 - среднее (0,5 - 1 тыс.т./год), 21 - готовящиеся к эксплуатации, 6 - мелкие (менее 0,5 тыс.т./год), 2 - крупное (1 - 5 тыс.т./год) и 1 – крупнейшее (5 - 10 тыс.т./год).

За исследуемый период на территории бассейна реки Большой Балык было выявлено 1286 аварий от нефтедобывающих объектов, наибольшее кол-во аварий было зафиксировано в 2017 г., общая площадь нарушенных территорий за период с 2016 по 2020 года составляет 201,04515 га. В 2017 г. загрязнены 92,0921 га, что составляет 45, 8 % от общего загрязнения за весь период и является максимальным значением среди всех и представленных водосборов.

Большинство аварий представлены в пределах Мамонтовского месторождения, которое является, одним из крупнейших месторождений по объёмам добычи в ХМАО. В связи с этим, именно это месторождение было выбрано для разработки методики визуализации направления потоков загрязняющих веществ смываемых с территории водосборов, основанной на цифровой модели рельефа.

Бассейн реки Большой Салым

Бассейн протекает в Среднеобской низменности, местность преимущественно заболоченная, общее направление течения субмеридиональное, и только в среднем течении река протекает с востока на запад.

В бассейне р. Большой Салым открыты и разрабатываются значительные нефтяные месторождения: Правдинское и Петелинское (на правобережье), Салымская группа (Западно-Салымское, Верхне-Салымское и Вадельпское) – на левом берегу. Годовой объём добычи нефти достигает 8 млн т. От месторождений к реке проложены автозимники и грунтовые дороги. Всего на территории бассейна 8 месторождений из которых: 5 - готовящиеся к эксплуатации, 1 - мелкие (менее 0,5 тыс.т./год), 2 - крупное (1 - 5 тыс.т./год). (Приложение 5)

За исследуемый период на территории бассейна реки Большой Салым было зафиксировано 169 аварий от нефтедобывающей промышленности, в результате которых было загрязнено 36,32699 Га территории бассейна.

Петелинское нефтяное месторождение, является крупным месторождением, разрабатывается "НК "Роснефть" и мало чем примечательно. Располагается на самой границе бассейна и Малобалыкское месторождение, так же принадлежит "НК "Роснефть", расположено в средней части территории бассейна, открыто в 1966 г. в результате поискового бурения скважины №13. По величине извлекаемых запасов Малобалыкское месторождение относится к категории крупных, по строению – к сложным. Именно это месторождение является потенциальным источником рассредоточенных загрязнений на территории бассейна. Введено в разработку в 1985 г.

Правдинское — крупное нефтяное месторождение в России. Расположено вблизи городского поселения Пойковский Нефтеюганского района. Открыто в 1966 г., освоение началось в 1968 г.

Большой Салым в половодье доступен для судов с небольшой осадкой от устья до пос. Салым (210 км от устья). Нерегулярное судоходство осуществляется на нижних 110 км. На реке расположены три населённых

пункта: Салым (7,1 тыс. жителей), Лемпино (510 чел.) и Сулино, небольшие национальные посёлки в нижнем течении реки. У Салыма реку пересекает железная дорога Тюмень-Сургут-Новый Уренгой. На Большом Салыме действуют два автомобильных перехода и несколько переходов нефте- и газопроводов.

Бассейн реки Большой Юган

Бассейн реки Большой Юган расположен на Васюганской равнине в пределах Среднеобской низменности. Река берет свое начало в болотах Васюганья, впадая в проток Юганской Оби 38 км выше Нижневартовска двумя рукавами, основной из которых – левый.

В нижнем течении Большого Югана открыты и эксплуатируются нефтяные месторождения: Омбинское (с 1978 г., компания «Юганскнефтегаз», добыча 300–340 тыс. т в год), Западно-Асомкинское (с 1997 г., «Славнефть»), Угутское («Томскнефтегаз»), Тайлаковское (с 2004 г., «Славнефть»). Ниже пос. Угут в долине располагаются многочисленные кусты скважин, вахтовые посёлки, компрессорные станции, проложены дороги.

Всего на территории бассейна 30 месторождений из которых: 21 - готовящиеся к эксплуатации, 7 - мелкие (менее 0,5 тыс.т./год), 1 - среднее (0,5 - 1 тыс.т./год), 1 - крупное (1 - 5 тыс.т./год). (Приложение 5)

Бассейн реки Казым

Центральная часть бассейна расположена на Нижнеобской низменности, которую можно характеризовать как заболоченную. Берёт начало из оз. Казымтайлор в Сибирских Увалах.

С 1980-х гг. в бассейне Казыма разрабатываются и эксплуатируются нефтегазовые месторождения: Кислорское, Верхне-Казымское, Ватлорское, Северо-Ватлорское, Сурьёганское, Ветсортское, Верхне-Лунгорское, Лунгорское нефтяные; Пахромское газоконденсатное. Проложены зимники, автодороги, создана сеть разведочных и эксплуатационных скважин, технологических площадок. В средней и нижней части долины Казыма с 1970-х гг. развёрнута газотранспортная инфраструктура, связанная с

транспортировкой газа из ямальских месторождений в Европейскую часть России. Реку и пойму пересекают магистральные газопроводы, вдоль которых были построены компрессорные станции («Сорум», «Сосновка», «Верхнеказымская», «Новоказымская», «Казымская», «Бобровская») и трассовые посёлки со всей необходимой социально-бытовой инфраструктурой. (Приложение 5)

Бассейн реки Конда

Водосборный бассейн располагается на Кондинской низменности, которая покрыта елово-лиственничной тайгой. Река берет свое начало из болот на возвышенностях Сибирских Увалов и впадает в Иртыш, с левой стороны в 90 км от устья. Для бассейна характерна сильная заболоченность и заозеренность, 70 % площади покрывают болота.

В бассейне и долине р. Конды разрабатываются крупные Шаимское и Урайское нефтегазовые месторождения, располагаются многочисленные вахтовые посёлки, создана развитая инфраструктура нефте- и газодобычи: скважины, автодороги, компрессорные станции, трубопроводы, технологические площадки.

Всего на территории бассейна 39 месторождений из которых: 14 - готовые к эксплуатации, 17 - мелкие (менее 0,5 тыс.т./год), 6 - среднее (0,5 - 1 тыс.т./год), 2 - крупное (1 - 5 тыс.т./год). (Приложение 5). За период с 2016 по 2020 г на территории бассейна было зарегистрировано 25 аварий с общей суммой загрязнения в 1,0035 га.

Бассейн реки Лямин

Бассейн р. Лямин располагается на Западно – Сибирской низменности, является правым притоком р. Оби, реку образуют три основных притока Первый Ляммин, Второй Ляммин и её главный приток Третий Ляммин, они берут своё начало на возвышенности Сибирских Увалов.

Каких-либо крупных и масштабных источников загрязнения территории не выявлено. По данным на 2016 год в пределах бассейна имеется 9-ть

разрабатываемых месторождений нефти и газа и 2-а мелких по объёму добычи месторождений месторождения.

Западно-Камыньское месторождение открыто в 1975 году, по геологическому строению сложное. Назаргалеевское нефтяное месторождение - расположено в Сургутском районе было открыто в 1996 году. По величине запасов Назаргалеевское месторождение относится к категории мелких, а по геологическому строению – к сложным.

Бассейн реки Назым

Река располагается в пределах сильно заболоченной Среднеобской низменности, является правым притоком р. Оби, берёт свое начало в болотах на южном склоне Сибирских Увалов

Река мало антропогенно деформирована, в пределах водосбора ведется разработка 8 месторождений нефти и газа, реку пересекают магистральные трубопроводы, а также ведется разработка месторождения песка.

Бассейн реки Пим

Река располагается в пределах сильно заболоченной Среднеобской низменности, является правым притоком р. Оби, берёт свое начало в тундровых болотах Нумто в системе Сибирских увалов. Бассейн заболочен.

Бассейн реки малонаселён. На берегах расположены пос. Нижнесортимский и г. Лянтор В бассейне реки нефтяные месторождения Айпимское, Нижнесортимское, Лянторское, Мильтонское и др. Всего выделено 11 месторождений их них: 8 - готовящиеся к эксплуатации, 4 - мелкие (менее 0,5 тыс.т./год), 1 - крупное (1 - 5 тыс.т./год).

Тяньское месторождение находится в распределённом фонде недр, по величине запасов нефти относится к категории крупных, по геологическому строению – к очень сложным, а по степени промышленной освоенности к законсервированным. Лицензия зарегистрирована ОАО «Сургутнефтегаз» в 1997 году.

Западно-Конитлорское нефтяное месторождение, было открыто в 1989 году скважиной № 156 «Главтюменьгеологии». Относится к распределённому

фонду недр, расположено в непосредственной близости от Конитлорского и Лянторского месторождений

Бассейн реки Северная Сосьва

Река берёт начало при слиянии рек Большая и Малая Сосьва. Северная Сосьва судоходна в нижнем течении (на участке длиной около 650 км от устья).

В бассейне расположено 17 готовящихся к эксплуатации и разрабатываемых месторождений, все они открыты в период от 1950 по 1970-ые годы, на данный момент экспортирующихся месторождений на территории нет.

Бассейн реки Тромъеган

Бассейн реки лежит в пределах плоской заболоченной и заозёрной Среднеобской низменности.

Река судоходна на 309 км от устья (до с. Русскинской) при высоких уровнях воды. Судоходство нерегулярное, река используется для завоза грузов в вахтовые посёлки нефтедобытчиков.

В бассейне реки эксплуатируются нефтяные месторождения: Фёдоровское (нижнее течение, 54 км), Тевлинско-Русскинское (среднее течение, 50–300 км от устья), Мурьяунское (верхнее течение, 350 км). Фёдоровское месторождение эксплуатируется более 40 лет (сейчас – ОАО «Сургутнефтегаз»); его запасы почти выработаны (из 2 млрд т осталось 189 млн т), добыча около 2 млн т/год. Тевлинско-Русскинское месторождение относится к крупным (1,5 млрд т. запасов). Известно с 1981 г., добыча ведётся с 1986 г., в настоящее время – компанией «ЛукОйл» (ежегодная добыча до 9,5 млн т.). Мурьяунское месторождение эксплуатируется с 1985 г., сейчас – ОАО «Сургутнефтегаз». В районах добычи создана развитая сеть дорог, вахтовых посёлков, компрессорных станций, трубопроводов, технических и буровых площадок. Инфраструктура расположена на склонах долины, речных террасах и заболоченных междуречьях. В зонах добычи отмечается загрязнение воды соединениями меди, цинка, марганца, азот аммонийным азотом, нефтепродуктами, фенолом. (Приложение 5).

Всего в бассейне р. Тромьган находятся 30 месторождений нефти и газа из них: 1 - среднее (0,5 - 1 тыс.т./год), 7 - готовящиеся к эксплуатации, 10 - мелкие (менее 0,5 тыс.т./год), 9 - крупное (1 - 5 тыс.т./год) и 2 – крупнейшее (5 - 10 тыс.т./год) и 1-уникальное (более 10 тыс.т/год).

3.2. АНАЛИЗ ТЕРРИТОРИИ РЕГИОНА НА ОСНОВАНИИ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА ОБ АВАРИЙНОСТИ НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Состояние окружающей среды на территории ХМАО-Югра можно проанализировать благодаря официальной данным мониторинга аварийности месторождений, находящейся в общем доступе, на официальном ресурсе Службы по контролю и надзору в сфере охраны окружающей среды объектов животного мира и лесных отношений, официальный ресурс службы которая, относится к Росприроднадзору ХМАО-Югры. В реестре занесена информация о координатах, территориях, датах аварии, масштабах аварии с указанием лицензионного участка и установок, предприятий, дате рекультивации загрязнений и типу загрязненной территории.

Места аварий, указанные в данных мониторинга об аварийности месторождений ХМАО-Югры, будут рассматриваться в качестве источников диффузного загрязнения. Для проведения анализа на карту расположения месторождений нефти и газа ХМАО (Приложение 4) были нанесены места расположения аварий. Соответственно эти места аварий соотнесены с расположением районов, бассейнов и месторождений.

Весь ход анализа можно принципиально разделить на несколько этапов:

- Привязка источников загрязнения к карте административных районов;
- Привязка источников загрязнения к карте водосборных бассейнов;
- Анализ площадей загрязненных территорий, авариями на нефтедобывающих объектах, водосборных бассейнах и административных районах ХМАО;

- Подведение результатов.

3.2.1. Привязка источников загрязнения к карте административных районов

На первом этапе анализа будет произведена инвентаризация аварий-диффузных источников загрязнения по отношению к административным районам ХМАЮ-Югры

Сформированный реестр об авариях мы добавляем в программу как таблицу атрибутов, на основании которой составляется слой на карте административного деления территории. Таким образом, зная количество аварий, мы можем произвести подсчет нагрузки от источников диффузного загрязнения на каждый район. Предполагаемая нагрузка будет тем больше, чем больше таких аварий выявлено в пределах района. Результаты анализа представлены на рисунке 7 и в таблице 5.

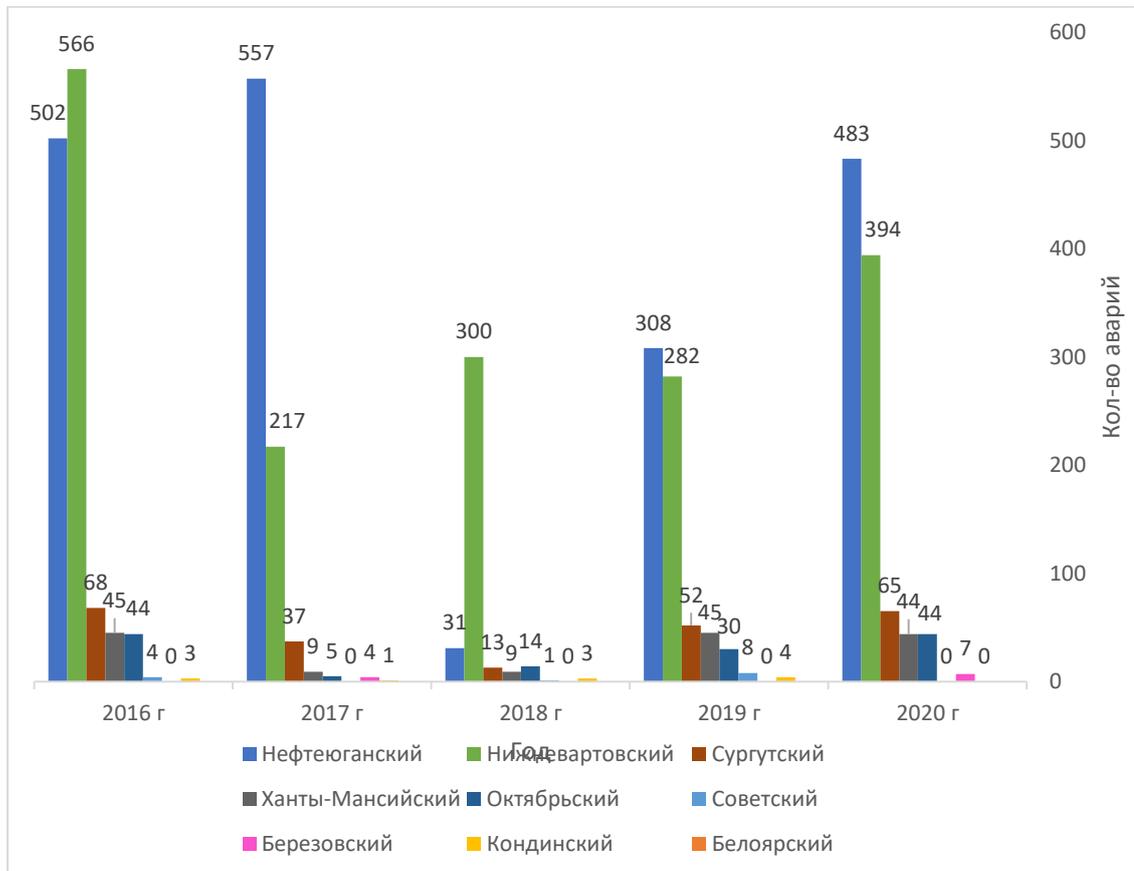


Рис.7. Сводная диаграмма аварийности по годам в каждом районе [составлено автором, на основании данных из [26]]

Таблица 5

Сводные данные по количеству аварий в административных районах по годам
[составлено автором, на основании данных из [26]]

Район/Год	Кол-во аварий					
	2016	2017	2018	2019	2020	Сумма по районам, за весь период
Нефтеюганский р-н	502	557	31	308	483	1881
Нижневартовский р-н	566	217	300	282	394	1759
Сургутский р-н	68	37	13	52	65	235
Октябрьский р-н	44	5	14	30	44	137
Ханты-Мансийский р-н	45	9	9	45	44	152
Советский р-н	0	4	0	0	7	13
Кондинский р-н	3	1	3	4	0	11
Сумма за год	1228	793	370	719	1038	4148

3.2.2. Привязка источников загрязнения к карте водосборных бассейнов

На втором этапе мы провели инвентаризацию аварий, но уже в границах водосборных бассейнов. Но в данном анализе, мы провели кластеризацию источников диффузного загрязнения, по объёмам загрязняемых территории, чтобы представить более точную картину их расположения.

Кластеризация — это объединение нескольких точек, в заданных масштабах, в одну по средствам усреднения одного из показателей. Применяется при работе с большим кол-вом данных для, улучшения визуализации данных.

Результаты кластеризации вы можете наблюдать в Приложении 5.

График водосборных бассейнов с наибольшим числом аварий за период представлен (Рисунок 8).

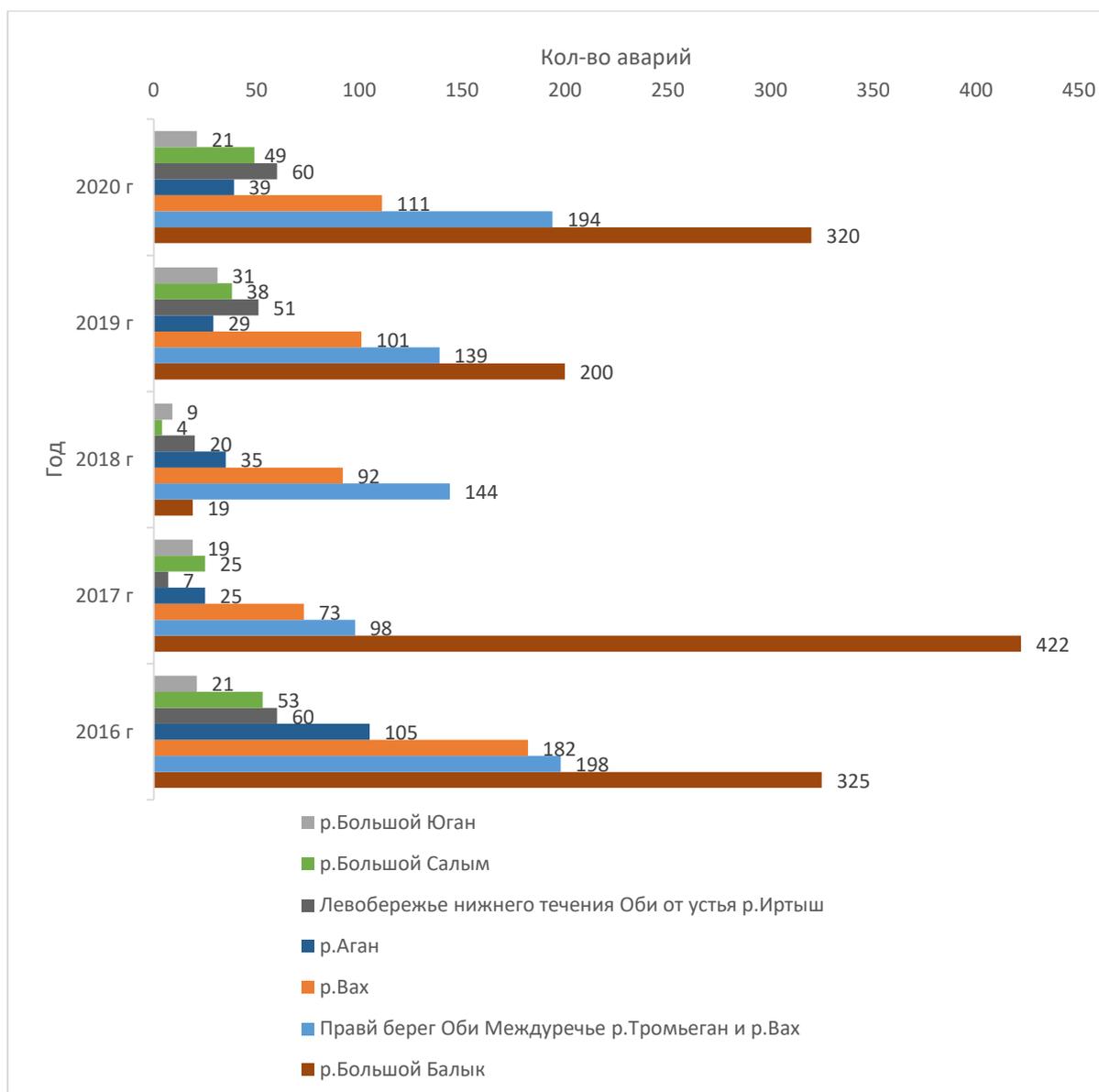


Рис. 8. Сводная диаграмма аварийности по годам в бассейнах рек [составлено автором, на основании данных из [26]]

3.2.3. Анализ площадей загрязненных территорий, авариями на нефтедобывающих объектах, водосборных бассейнах и административных районах ХМАО

На третьем шаге будет произведен анализ площадей, загрязнённых диффузными источниками (в результате аварий) в пределах районов и водосборных бассейнов, и отдельных месторождений. Результатом анализа

будут сумма площадей, загрязненных территории в результате аварий для каждого района/водосборного бассейна.

Результаты анализа представлены графиками на (Рисунок 9) и (Рисунок 10)

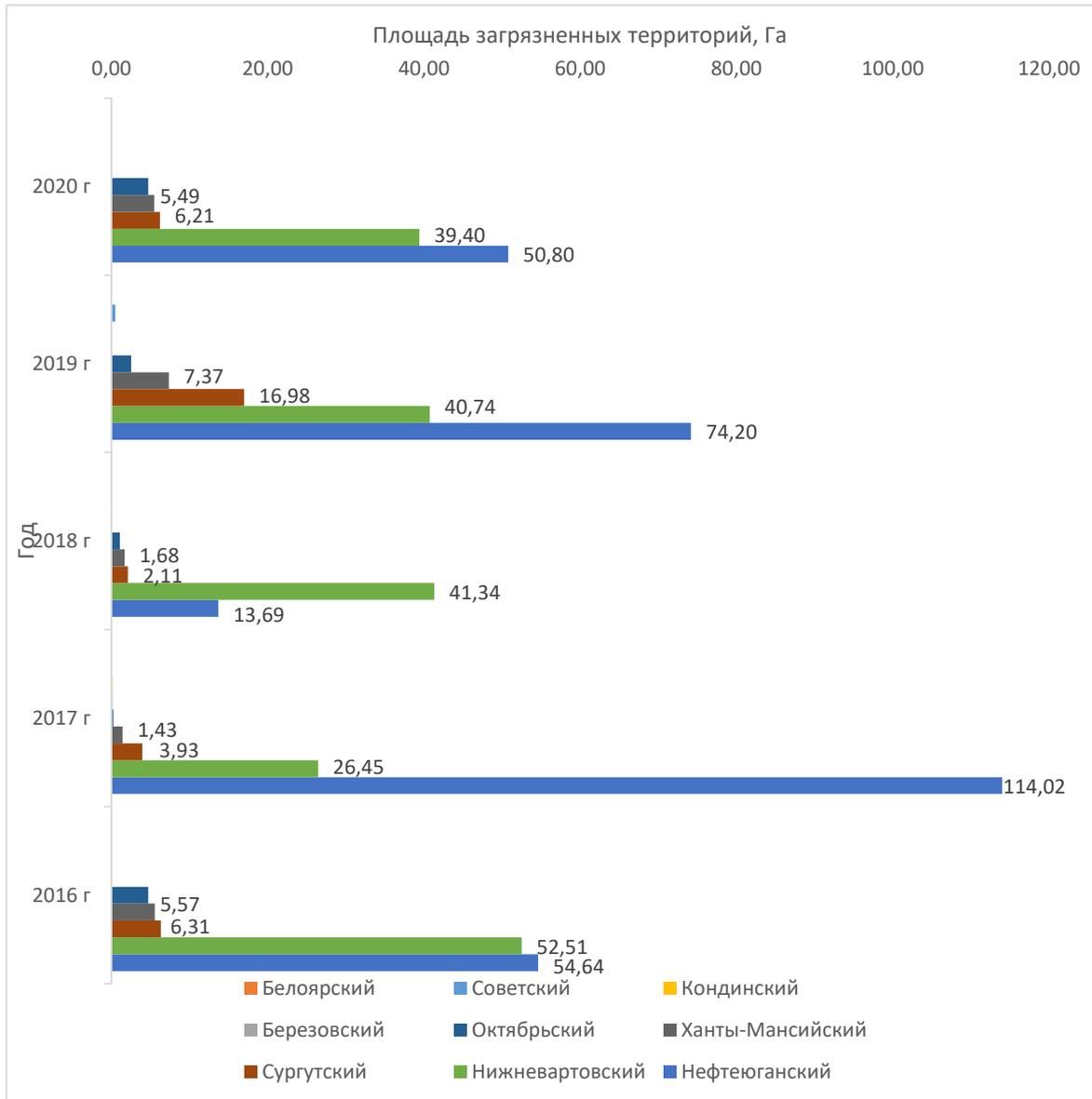


Рис. 9. Площадь загрязненных территорий за каждый год по административным районам
[составлено автором, на основании данных из [26]]

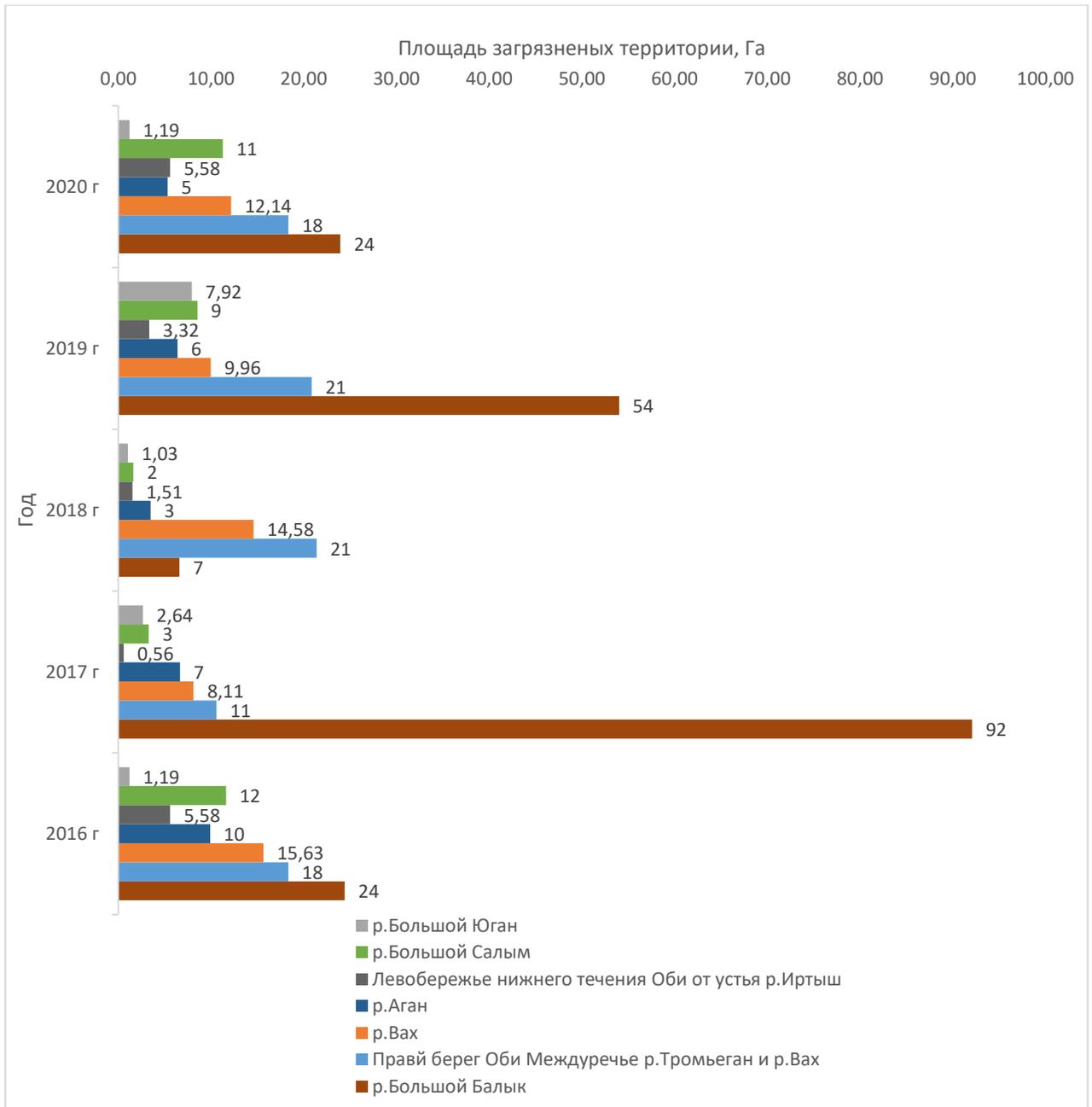


Рис. 10. Площадь загрязненных территорий за каждый год по водосборным бассейнам
[составлено автором, на основании данных из [26]]

3.2.4. Подведение результатов анализа

В результате проведенного анализа территории были:

1. Сведены данные о диффузных источниках загрязнения по отношению к районам и бассейнам;
2. Подсчитана площадь основных диффузных источников загрязнений этих территории;

3. Выделены месторождения вносящие основной вклад в формирование источников диффузного загрязнения.

В итоге отметим, что большинство диффузных источников загрязнения располагается в восточной части округа (Приложение 4). Основное количество источников загрязнения находится в Нефтеюганском (1881 аварий) и Нижневартовском (1759 аварий) административных районах (Таблица 5) и (Рисунок 7).

Согласно Приложению 4 и Приложению 5, в Нижневартовском районе, основная масса диффузных источников загрязнений располагается на границе территорий бассейнов р. Вах и Правобережья Оби, в междуречье Тромъегана и Ваха. И эти разливы связаны с Самотлорским месторождением, которое является уникальным по объёмам добычи.

В Нижневартовском административном районе в результате анализа территории, было выявлено следующее:

- Наибольшее число аварий было зафиксировано в 2016 г. В течении года было выявлено 566 аварий (Таблица 5), результатом таких аварий, за этот год, стало загрязнение территории района общей площадью 52,51 га (Рисунок 9);

- Общее загрязнение территории района, обусловленное источниками диффузного загрязнения от нефтепродуктов за 5 лет, составило 200,45 га (Рисунок 9);

- В междуречье Тромъегана и Ваха было загрязнено диффузными источниками 89,52 га площади (Рисунок 10), на бассейн р. Вах пришлось 60,43 га загрязненных территорий;

- Большинство аварий произошло на территории Самотлорского месторождение, на котором за весь период было зарегистрировано 1013 аварий, что составляет 57,6 % от суммы всех аварий в пределах Нижневартовского района.

Согласно Приложению 4 и Приложению 5, Нефтеюганском административный район, представлен бассейнами рек Большой Балык,

Большой Салым и основным руслом реки Оби. Большинство загрязнений в рамках района, расположены в бассейне р. Большой Балык и Пойме р. Оби.

В Нефтеюганском административном районе в результате анализа территории было выявлено следующее:

- Наибольшее число аварий приходилось на 2017 г. В течении года было выявлено 557 аварий (Таблица 5). Результатом таких аварий, за этот год, стало загрязнение территории района общей площадью 114 га;
- Площади, обусловленные источниками диффузного загрязнения нефтепродуктами в течении 5 лет, составило 307 га (Рисунок 9).
- В бассейне р. Большой Балык было загрязнено диффузными источниками 201,05 га (Рисунок 10), на бассейн р. Большой Салым пришлось 36,33 га загрязненных территорий;
- Большинство аварий приходится на Мамонтовское месторождение, на котором за весь период было зарегистрировано 972 аварий, что является 51,7 % от суммы всех аварий в пределах Нефтеюганского района.

3.3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ НАПРАВЛЕНИЯ ПОТОКОВ С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА

В своей работе, опираясь на модели, используемые при реализации метода экспортных коэффициентов, который был представлен в предыдущей главе исследовательской работы, была реализована модель визуализации направления потоков, позволяющая оценить направление миграции загрязнений от диффузных источников к местам их аккумуляции, основываясь на данных космоснимков территории. Благодаря обработке инструментами ГИС космоснимков ASTER GDEM version 3, была построена цифровая модель рельефа (ЦМР) территории ХМАО (Приложение 3).

Все этапы построения можно разделить на стадии:

1. Импорт космоснимков территории в ГИС;

2. Первичная обработка снимков (сглаживание и фильтрация);
3. Стилизация фоновой слоя (добавление матрицы высот, теневое рельефа, направления потоков и каналов);
4. Преобразование растра направления потока в сетку (SAGA to GRIB).

Для реализации данного метода использовались инструменты QGIS, SAGA и его плагинов.

Слой направления потока (flow direction) – это растровый слой, показывающий направление уклонов относительно сторон света, анализируя которые можно сделать выводы о аккумуляции потоков.

Для начала нужно загрузить космоснимки для территории ХМАО. В качестве используемых космоснимков были выбраны снимки спутника ASTER Global Digital Elevation Model Version 3.

Поскольку исследуемая территории имеет большие масштабы, обработка всего бассейна реки Обь займет достаточно большой объём памяти и времени. Для примера, было решено ограничиться одним лицензионным участком месторождением, для предоставления расчета миграции диффузных загрязнений.

В качестве расчетного участка был выбран Нефтеюганский район, бассейны рек Большой Юган и Большой Балык с лицензионным участком Мамонтовского месторождения, являющегося одним из крупнейших месторождений ХМАО. Выбор данной территории был сделан на основании статистики, представленной в Таблице 5, согласно которой, за периоды с 2016 г. по 2020 г., на данной территории была зафиксирована наибольшая аварийность по разливу нефтепродуктов. Границы лицензионного участка представлены на Рисунке 11, информация была взята с официального сайта Службы по контролю и надзору в сфере охраны окружающей среды, объектов животного мира и лесных отношений [25].

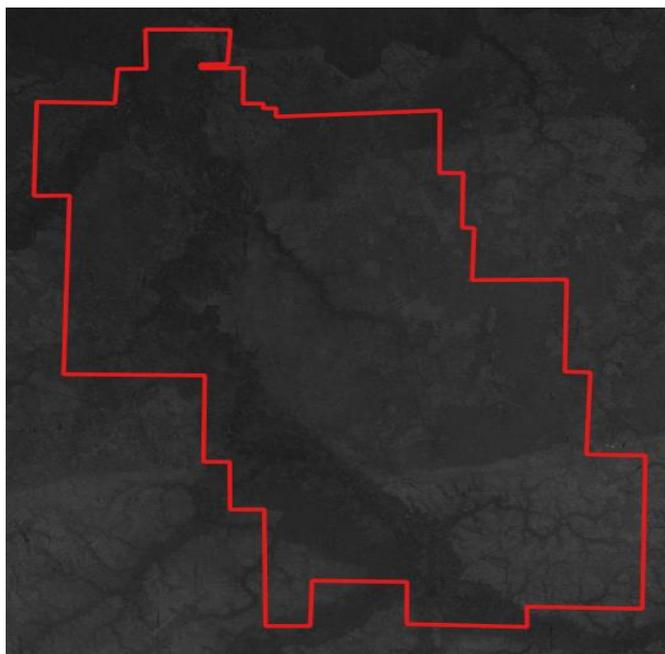


Рис.11. Границы лицензионного участка Мамонтовского месторождения [составлено автором по данным сервиса <https://earthexplorer.usgs.gov>, данные со спутника ASTER]

Для того, чтобы убрать помехи на космоснимках лицензионного участка, была произведена предварительная фильтрация снимка с помощью инструмента «SAGA – Terrarian Analysis - Hydrology – Fill sinks».

Следующим шагом:

1. Переходим в «Свойства - Оформление», в разделе «Изображение» меняем вид отображение на «Одноканальное псевдоцветное», в разделе «Градиент» задаем новый градиент из каталога «Topography - Elevation» и получаем подобную ЦМР (Рисунок 12).

2. Нажимаем в браузере на слой правым кликом мыши и выбираем «Дублировать слой», в копии переходим в «Свойства - Оформление» слоя и создаем слой подложки рельефа. Для этого в разделе «Изображение» выбираем «Теневой рельеф» (Рисунок 13).

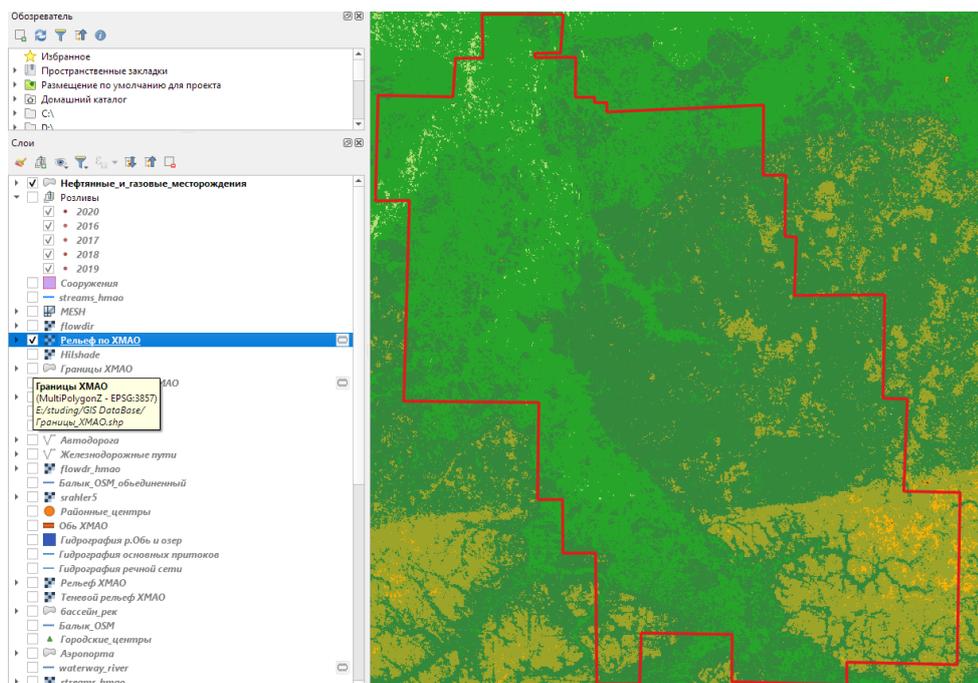


Рис.12. Цифровая модель рельефа Мамонтовского месторождения [составлено автором по данным сервиса <https://earthexplorer.usgs.gov>, данные со спутника ASTER]

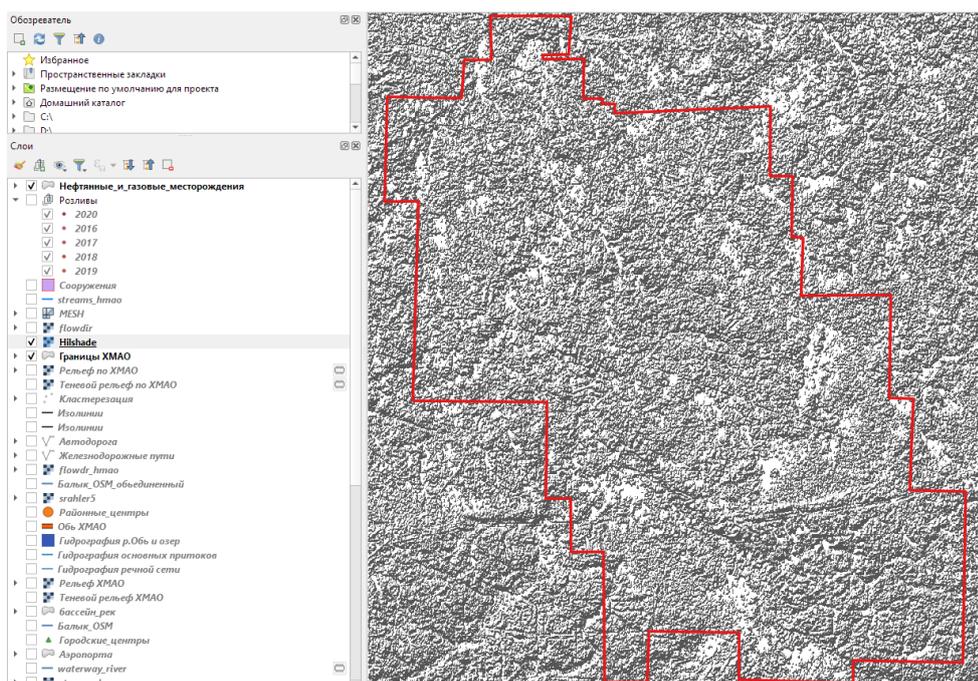


Рис. 13. Теневым рельефом Мамонтовского месторождения [составлено автором по данным сервиса <https://earthexplorer.usgs.gov>, данные со спутника ASTER]

3. Для наложения первого и второго изображения друг на друга и создание единого рельефа, переходим в «Свойства - Оформление» первого слоя и в разделе «Смешивания» выбираем параметр «Умножение». Во втором слое Теневого рельефа, переходим в «Свойства - Оформление» и увеличиваем

параметр «Яркость», уменьшая параметр «Контрастность» последовательно смотря на карту для достижения оптимального отображения (Рисунок 14).

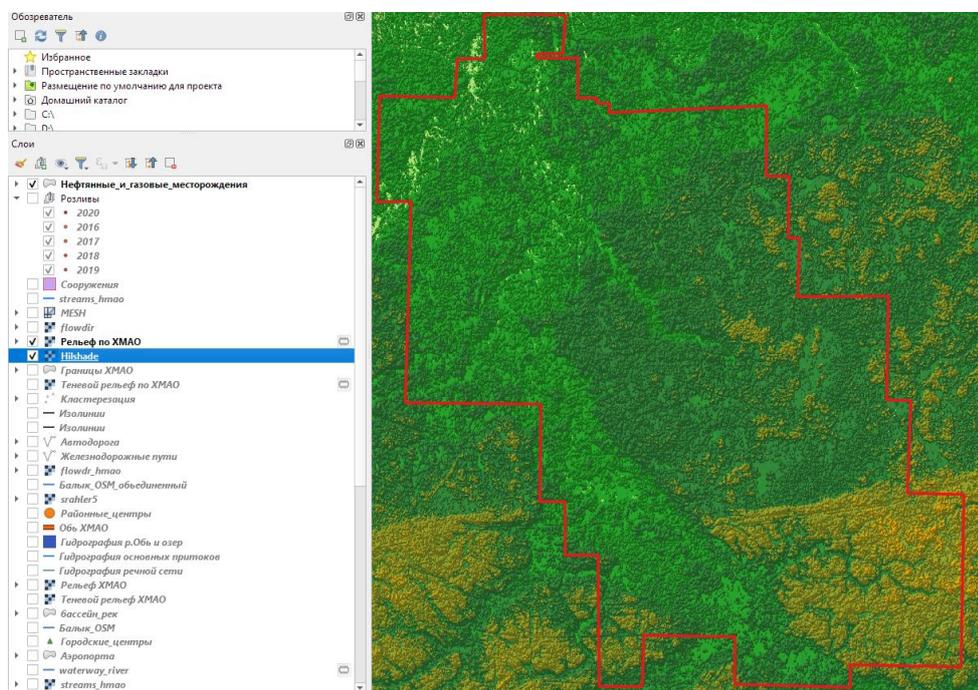


Рис. 14. ЦМР с наложением Теневого рельефа [составлено автором по данным сервиса <https://earthexplorer.usgs.gov>, данные со спутника ASTER]

4. Далее для получение более актуальной информации о гидрографии нашей территории с помощью инструментов QGIS SAGA выделим основные каналы речной сети, на основании уклонов и высот наших снимков. Для получения данных о каналах и направлениях потоков, питающих притоки, открываем «Панель инструментов» и переходим в пункт «SAGA - Terrain Analysis – Channels – Strahler order», параметры оставляем стандартными и запускаем алгоритм (Рисунок 15).

В итоге получаем слой с каналами, который детализируется при масштабировании. Что бы предать ему наглядность и возможность нанесения на нашу основную карту в дальнейшем преходим в «Свойства - Оформление» в разделе «Изображение» выбираем «Одноканальное псевдоцветное» и нажимаем классифицировать. Удаляем промежуточные значения кроме 0 и 1, меняем цветовую гамму значения один на синий оттенок. Переходим в

«Свойства - Прозрачность», выставляем значение «Дополнительные параметры» на 0. Тем самым делая значения фона невидимыми. На Рисунке 17 отобразим сравнение карты речной сети построенной по данным Open Street Map и по космоснимкам.

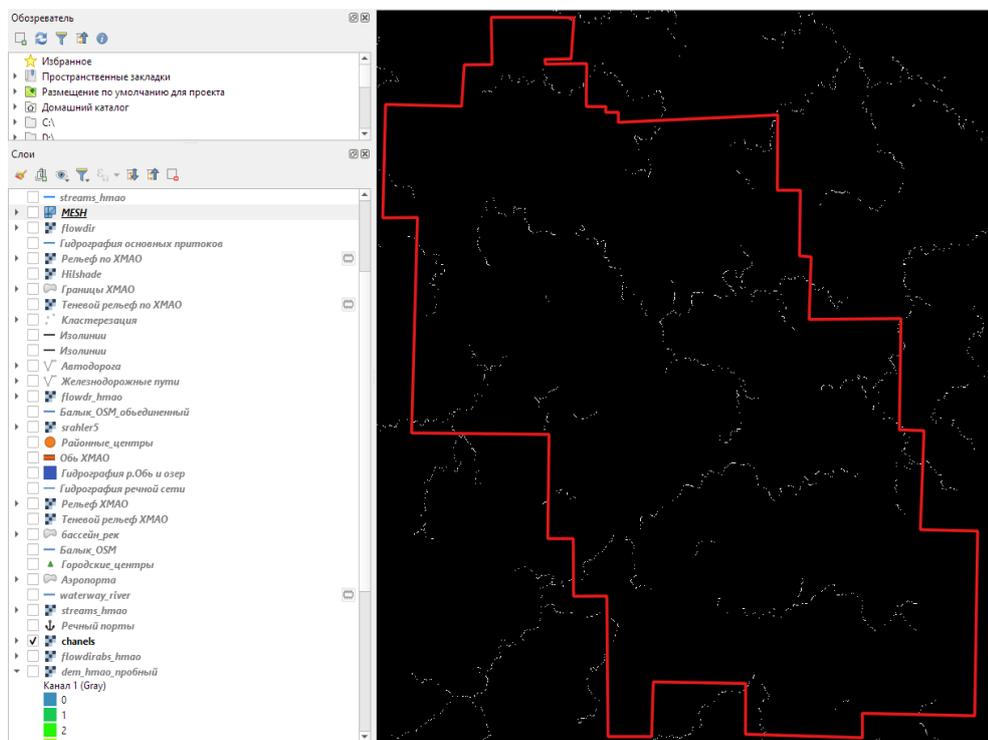


Рис. 15. Первичный слой каналов [составлено автором по данным сервиса <https://earthexplorer.usgs.gov>, данные со спутника ASTER]

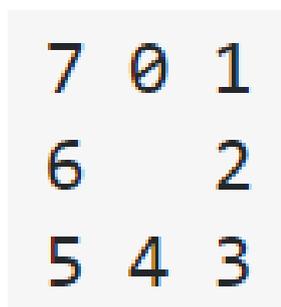


Рис. 16. Направление потоков в SAGA, где 0-Север, 1-Северо-Восток, 2-Восток, 3-Юго-Восток, 4-Юг, 5-Юго-Запад, 6-Запад, 7-Северо-Запад. [составлено автором]

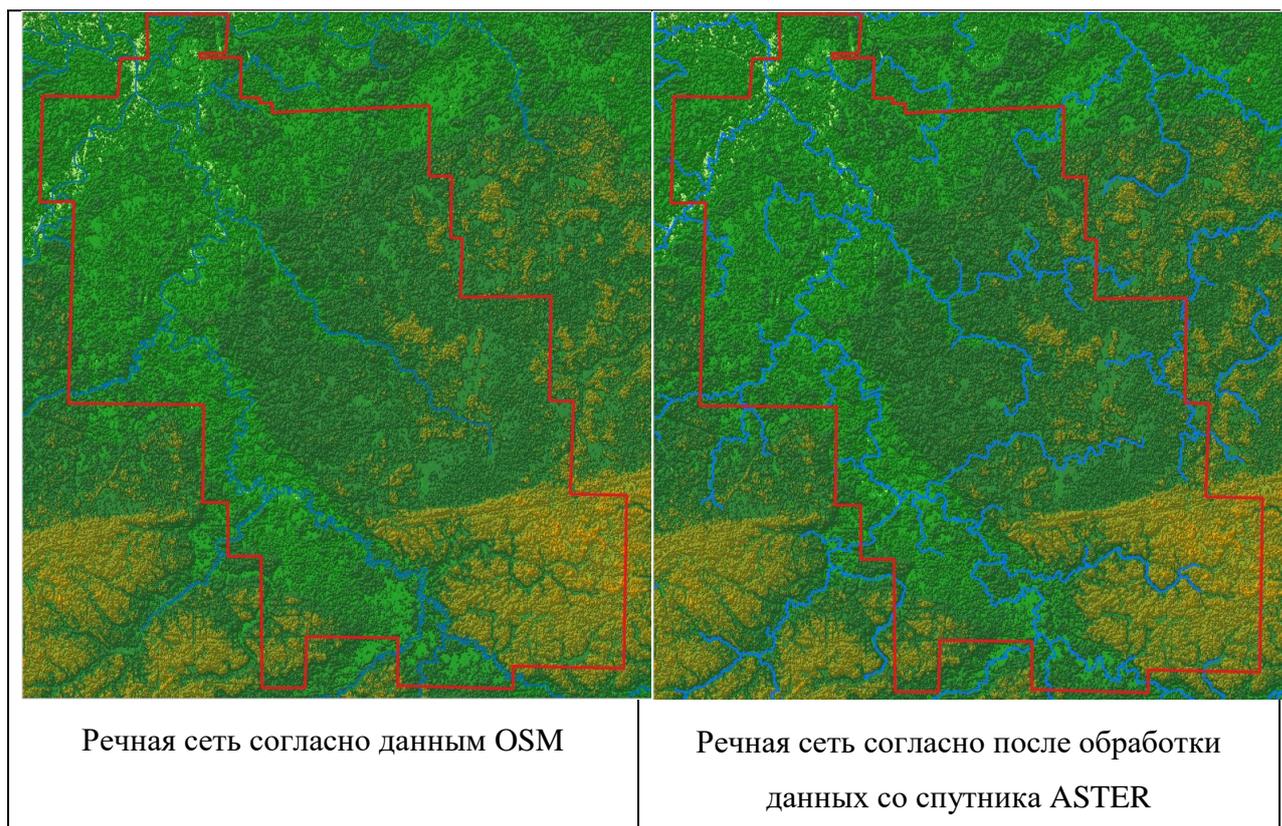


Рис. 17. Сравнение карты речной сети Мамонтовского месторождения (до и после обработки речной сети) [составлено автором по данным сервиса <https://earthexplorer.usgs.gov>, данные со спутника ASTER]

Следующим нашим шагом будет получение из ЦМР новый «Слой направления потоков» (Flow Direction), с целью векторной визуализации направления уклонов на территории. Визуализировать направление векторными стрелками нам поможет плагин Crayfish. Работы плагина заключается в разбиении растрового слоя на масштабируемую сетку и кодировании каждого участка значением от 0 до 7 на основании анализа уклона и высот квадрата (участка) сетки, отображается направления потока. Данные направления потока в дальнейшем позволят сделать частные выводы о смыве, для каждого отдельного загрязнения (Рисунок 16).

5. Открываем «Панель инструментов» переходим в раздел «SAGA - Terrain Analysis – Chanel Network and Drainage basins», выставяем значение «Threshold» равное 5, ставим галочку напротив пункта «Flow Direction», сохраняем выбранный слой. После завершения обработки, настраиваем

выходной слой. Для этого, переходим в «Свойства - Оформление», в разделе «Изображение» меняем вид отображение на «Одноканальное псевдоцветное» и нажимаем «Классифицировать», получаем слои с нумерацией от 0 до 8. (Согласно классификации, QGIS слой под номером 8 имеет нулевое значение). Далее нам требуется задать отдельный каждому направлению уклона, согласно стороне света, в конечном итоге должен получиться результат как на Рисунке 18 и Рисунке 19.

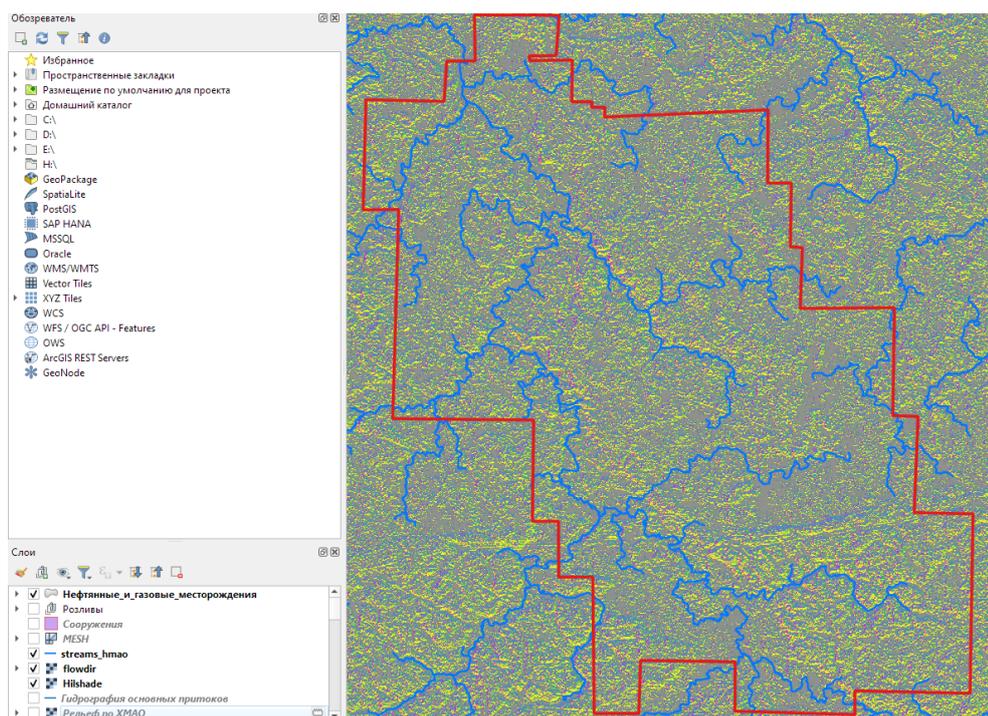


Рис. 18. Карта направлений потоков (flow direction) [составлено автором по данным сервиса QGIS и <https://earthexplorer.usgs.gov>, данные со спутника ASTER]

Уже по имеемому слою можно сделать выводы о смывах загрязнений при достаточно детальном анализе, но количество цветов может дезориентировать. Именно поэтому было решено нанести векторные слой поверх для визуализации направления потоков.

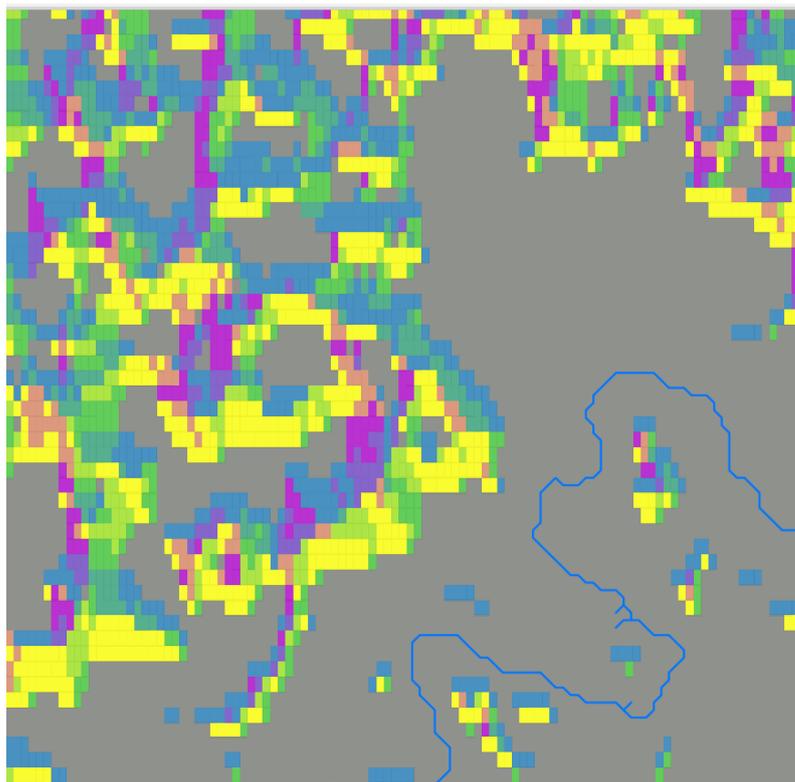


Рис.19. Направление потоков крупным планом [составлено автором по данным сервиса <https://earthexplorer.usgs.gov>, данные со спутника ASTER]

6. Открываем «Панель инструментов». Ищем в списке плагины и переходим раздел «Crayfish - Conversions - SAGA Flow to GRIB». В качестве входного слоя выбираем последний растр, обязательно сохраняем выходной слой и нажимаем «Выполнить». GRIB - это формат сетки, поддерживаемый QGIS. Теперь потребуется добавить в «Браузер» новый слой формата сетки.

7. Следующим шагом является стилизация созданного нами слоя сетки направления потока:

-Выберите слой потоковой сетки на панели «Слои» и откройте панель «Стиль слоя».

- Выключаем визуализацию контуров.
- Включить векторную визуализацию.
- Переходим на вкладку векторного стиля.
- Настраиваем ширину линии и цвет меняем на синий.

При увеличении, на карте будет видна подобная визуализация (Рисунок 19) стрелками, с помощью подобной визуализации мы и будем определять диффузию рассредоточенных источников загрязнения.

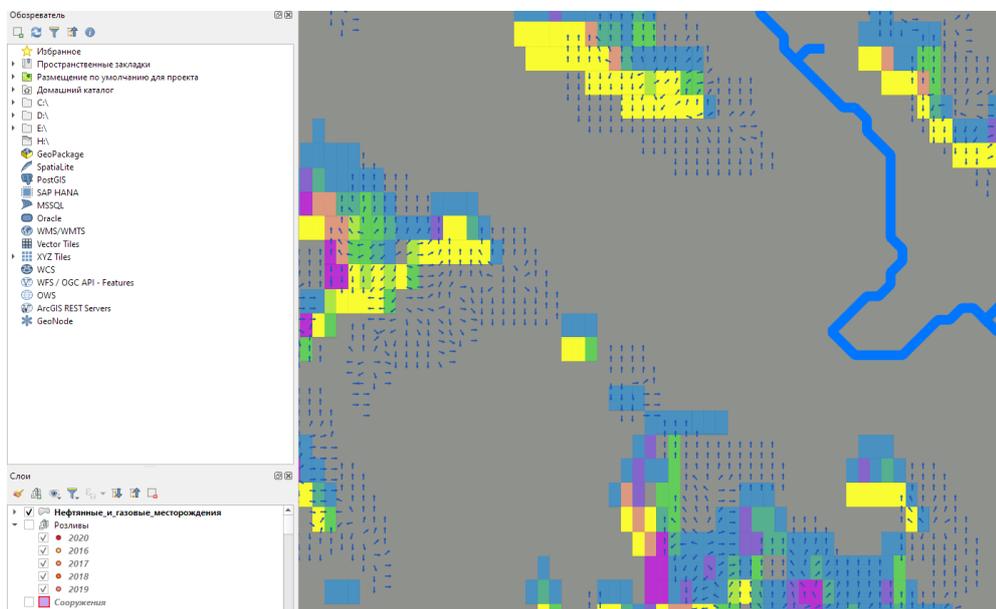


Рис. 20. Векторная визуализация направления стока с территории Мамонтовского месторождения [составлено автором по данным сервиса <https://earthexplorer.usgs.gov>, данные со спутника ASTER]

8. Следующим шагом в построении нашей карты, будет конкретизация диффузных источников загрязнения. Для этого, на карте с помощью стандартных функции QGIS по созданию векторных слоев и полигонов отмечаем линейные объекты, производственные сооружения и установки в пределах выбранного лицензионного участка.

9. Подводя итоги, того что уже было сделано в рамках выпускной квалификационной работы, отметим что мы имеем:

- Карта речной сети и водосборных бассейнов;
- Карта цифровой модели рельефа;
- Карта направления потока;
- Расположения месторождений, их линейных объектов, источниках поступления диффузных загрязнений стока по годам (включающих таблицы

атрибутов с информацией о датах поступления, месте аварии, аварином участке, кол-ве выброса, типе загрязненных территорий) ;

- Статистики аварийности по региону, районам и месторождениям.

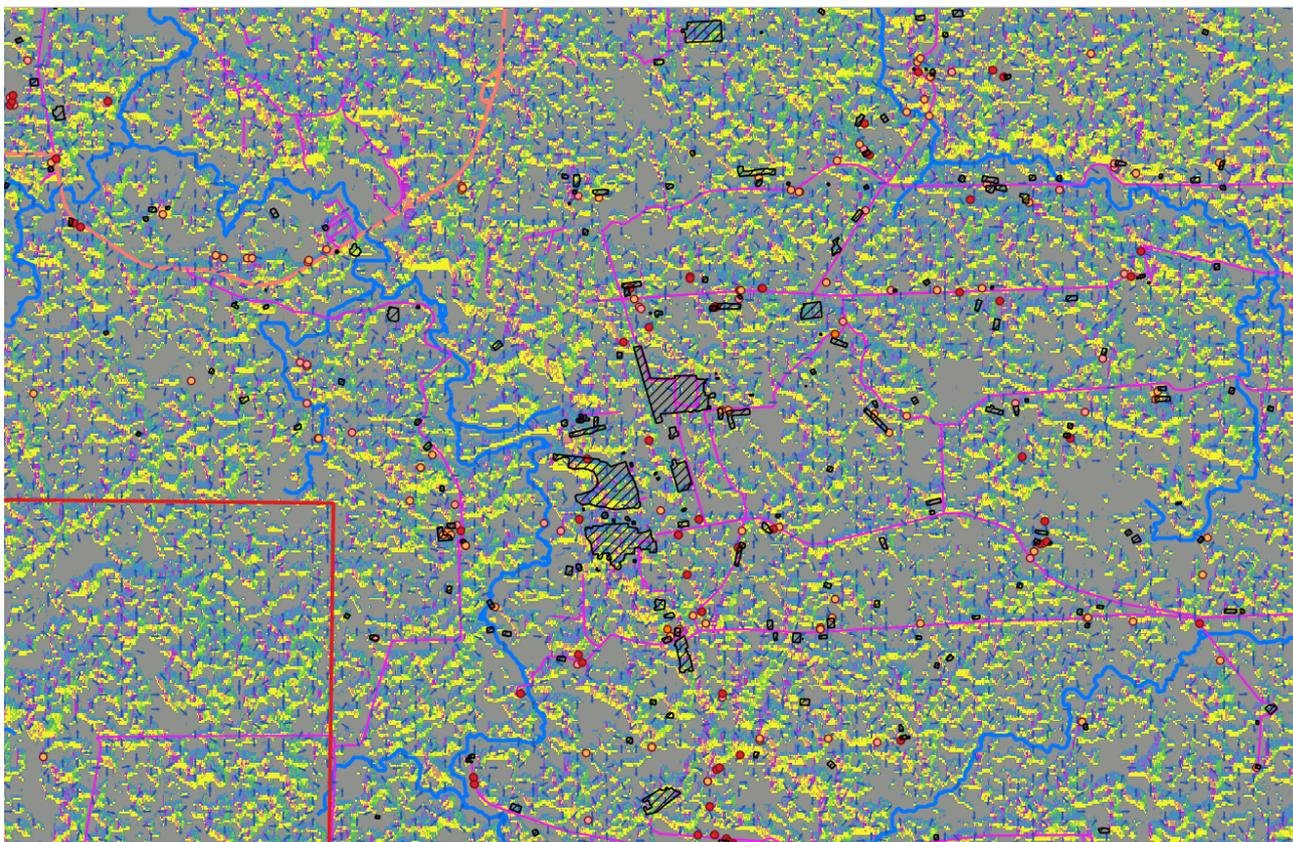
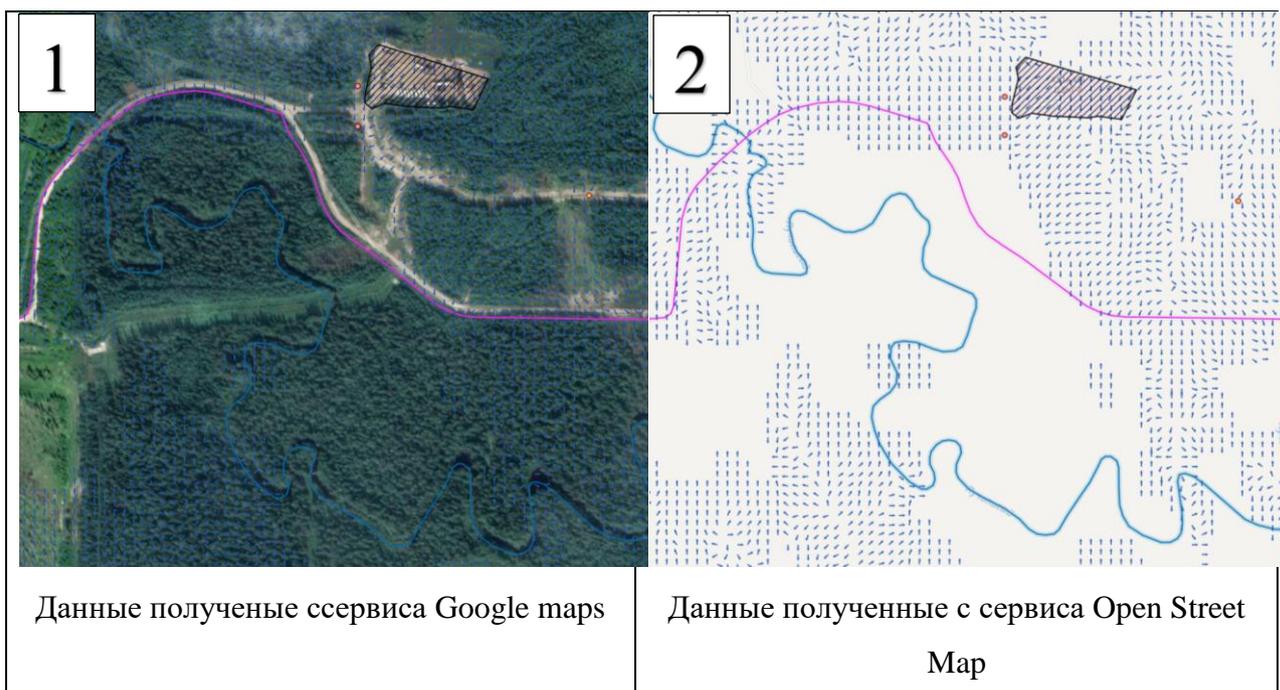


Рис. 21. Участок итоговой карты с обозначениями антропогенных участков и источников поступления диффузных загрязнений [составлено автором по данным плагина для QGIS - Quick Map Serves и сервиса <https://earthexplorer.usgs.gov>, данные со спутника ASTER]

Воспользовавшись инструментами статистического анализа и картой водосборных бассейнов, мы смогли выявить наиболее аварийные месторождения, представляющие наибольший интерес для оценки влияния диффузных источников загрязнения. В качестве примера было выбрано Мамонтовское месторождение, расположенное на территории Нефтеюшанского района. На Рисунке 22 «Анализ участка загрязнения» представлен, один из участков территории в масштабе в разных вариациях карты (1 - космоснимок из Google maps, 2 - карта сервиса Open Street Map, 3 –

участок ЦМР, 4 - карта уклонов,) все изображения представлены с векторной детализацией направлений потоков. На снимках представлен участок вблизи устья р. Пучип-Игый, которая протекает по правому берегу р. Большой Балык. Как мы видим на участках 1 и 2, на данном отрезке река протекает по равнинной местности, на территории находится одно месторождение с тремя источниками диффузного загрязнения. С помощью представленной модели на участках 3 и 4 мы можем визуальную оценить направление поверхностного стока от источников загрязнения, что позволяет нам делать выводы о участках дальнейшей аккумуляции нефтепродуктов.



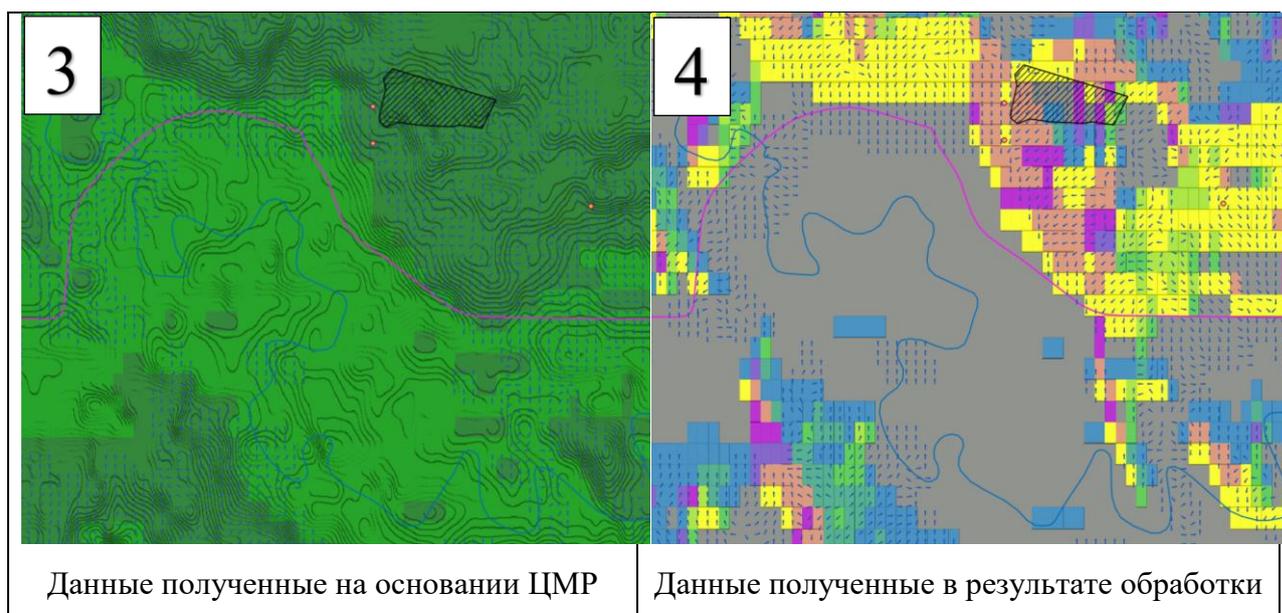


Рис. 22. Анализ участка загрязнения (до и после обработки речной сети) [составлено автором по данным сервиса Google Maps, Open Street Map и <https://earthexplorer.usgs.gov>, данные со спутника ASTER]

Используя данные снимков спутника ASTER GDEM Version 3 была подстроена модель направления потоков загрязняющих веществ, результатом построения модели является визуализация направления смыва загрязняющих веществ поверхностным стоком, основанная на данных ЦМР и карты уклонов, позволяющая ей точно оценивать направление движения загрязнений от источников поступления к местам аккумуляции. Точность модели будет выше на территориях с разнородным рельефом. Представленная модель может использоваться независимо или являться частью физически обоснованных методик для количественного определения загрязнений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы было определено понятие «Диффузные источники загрязнения». Приведена классификация источников загрязнения и рассмотрена общая схема поступления диффузных загрязнений в водные объекты.

На примере работ зарубежных авторов, были рассмотрены методы оценки влияния диффузных источников загрязнения на общую составляющую загрязненности водосборов. Была произведена классификация представленных методик и оценена их применимость для учёта загрязненности нефтепродуктами водосборных бассейнов в Среднем Приобье в границах ХМАО-Югры.

На основании изученных методов, была предложена модель визуализации направления потоков, основанная на данных ЦМР о территории, для отображения направлений миграции загрязняющих веществ от диффузных источников загрязнения на примере Мамонтовского месторождения.

Произведена инвентаризация источников загрязнения в границах административных районов и бассейнов ХМАО-Югры, по данным мониторинга об аварийности нефтедобывающих предприятий региона. В рамках анализа были выявлены административные районы, бассейны рек и месторождения, подвергающиеся наибольшему влиянию от диффузных источников нефтяного загрязнения.

В ходе инвентаризации было выявлено что большинство источников диффузного загрязнения расположено в восточной части ХМАО – Югры. Наибольшее количество загрязнений было выявлено в Нижневартовском (1759 аварий) и Нефтеюганском (1881 аварий) административных районах.

Большинство диффузных источников загрязнений нефтепродуктами в пределах Нижневартовского административного района, расположено в бассейне р. Вах и междуречье Тромъегана и Ваха, на лицензионном участке Самотлорского месторождения (Рисунок 10). За период с 2016 по 2020 г. в

результате аварий, диффузными источниками было загрязнено 149,95 га площади района.

Большинство диффузных источников загрязнений нефтепродуктами в пределах Нефтеюганского административного района, расположено в бассейне р. Большой-Балык и поймы р. Обь (в пределах района), на лицензионном участке Мамонтовского месторождения (972 аварии) (Рисунок 10). За период с 2016 по 2020 г. в результате аварий, диффузными источниками было загрязнено 237,35 га площади района.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Книжные издания

1. «Environmental Programme for the Danube River Basin», [Danube Integrated Environmental Study Report Phase 1.], Commission of The European Communities. – 1994. Jan.
2. Novotny V. and Chesters G. «Handbook of non-point pollution» – New York, NY: Van Nostrand Reinhold Co., 1981. – 545 с.
3. Novotny V. Diffuse «(non-point) pollution – a political, institutional, and fiscal problem» [Journal of the Water Pollution Control Federation] – 1988. – Vol.60, No. 8. – P. 1404 – 1413 с.
4. Cunningham P.A. «Nonpoint source impact on aquatic life: Literature review. Prepared for Monitoring and Data Support Division, Office of Water Regulations and Standards, U.S. Environmental Protection Agency. » [Research Triangle Institute], USA, 1998. – 25 с.
5. «Managing nonpoint source pollution. », [Final Report of Congress on Section 319 of the Clean Water Act (Report No. EPA-506/9-90).] – Office of Water, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1992, June.
6. Zongming R., Li Q., Hongyan W., Weiliang W., Tiantian J., Wenping D., Xiaohui L., Chuanxi Y., Yufan W., Lihui H., «Analysis of Nonpoint Source Pollution and Water Environmental Quality Variation Trends in the Nansi Lake Basin from 2002 to 2012» [Journal of Chemistry and Engineering], 2015. 11 – 13 с.
7. Huang G. L., Huang B. S., Qiu J. and Liu D., [Water Resources and Hydropower Engineering], 2017, 48: 118 – 24 с.
8. Xin X. K., Yin W., Li K. F., «Estimation of non-point source pollution loads with flux method in Danjiangkou Reservoir area, China» [Water Science and Engineering], 2017, 10: 134 – 42 с.
9. Li K., Lin K. R., Jiang T., Chen X. H., [Resources and Environmental Science], 2010, 23 298 – 303 с.
10. Li R. R., Zou Z. H., An Y. J., [Environmental Science], 2016, 50 87-92 pp.

11. Kisi O., Parmar, K. S., «Application of least square support vector machine and multivariate adaptive regression spline models in long term prediction of river water pollution» [Journal of Hydrology] 534: 104 – 112 c.
12. Vladimir N. 1995 «Nonpoint Pollution and Urban Stormwater Management vol 1» [Boca Raton: CRC Press] p 294 Tülay E. K., Muharrem D. and Fikret K., 2015 Environ. Earth Sci. 73 5333 – 47 c.
13. Sarkar A, Pandey P., «River water quality modelling using artificial neural network technique. » [Aquatic Procedia] 2015,1070 – 7 c.
14. Guo Q C, He Q F, Li L and Li H N J. S. [Agricultural Engineering and Sustainability], 2011, 6: 1-5 c.
15. Wang, H.Y., «Assessment and prediction of overall environmental quality of Zhuzhou City», [Environmental Managment 2002], Hunan Province, China. 66: 329–40 pp.
16. Icaga Y., «Fuzzy evaluation of water quality classification. », [Ecolog Indic], 2007, 7: 710-8 c.
17. Pra T., [Journal of Ecological Modeling], 2005, 187: 361-368 pp.
18. Hong W. C., Pai P. F., «Predicting engine reliability by support vector machines», [Int. J. Adv. Manuf. Technol.], 2006, 28: 154 – 161 c.
19. Yang J., Qian X., Zhang Y. C., Qian Y., « Geochemical modeling of groundwater in southern plain area of Pengyang County, Ningxia, China», [Water Science and Engineering], China, 2009, 29: 762 – 766 c.
20. Sun S. M., Fu C. S., Zhang M. H., [China Rural Water and Hydrology], China, 2011, 6: 17 – 20 c.
21. Long-xi H, Fei H., Juan S. «Method for calculating non-point source pollution distribution in plain rivers » [Water Science and Hydropower Engineering], 2011, 19: 83 – 94 c.
22. Водогретский В.Е. «Антропогенное изменение стока малых рек»: монография. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 176 с.

23. Борисва Г.Г. «Геоэкологические основы управления диффузным стоком с сельскохозяйственных водосборов» [дис. Доктор географических наук]: 25.00.36. – Екатеринбург, 2002. – 319 с.
24. Шабанов В.В., Маркин В.Н. «Эколого-водохозяйственная оценка водосбора и водных объектов», [монография.] –М.: МГУП, 2009. – 154 с.
25. Михайлов С.А. «Диффузное загрязнение водных экосистема» Методы оценки и математические модели: Аналитический обзор/ СО РАН. ГПНТБ Ин-т водных и экол. проблем. – Барнаул: День, 2000. – 130 с.

Электронные издания

26. Служба по контролю и надзору в сфере охраны окружающей среды, объектов животного мира и лесных отношений Ханты Мансийского Автономного Округа – Югры: официальный сайт. Ханты-Мансийск. URL: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/sostoyanie-okruzhayushchey-sredy/pochva-obzornaya-informatsiya/avariynost-i-zagryaznenie-zemel/395051/reestr-zagryaznennykh-neftyu-nefteproduktami-podtovarnoy-vodoy-territoriy-i-vodnykh-obektov-khanty-m/> (дата обращения 16.04.2021).
27. Геопортал Югра карты-online URL: <https://maps.crru.ru/smaps/cmViewer.php> (дата обращения 20.06.2021).

Сравнение пяти гидрологических моделей [составлено автором по данным, [22]]

Модель	Область расчета	Временной отрезок	Включаемые функции
ANSWERS(Моделирование отклика окружающей среды водосборного бассейна на неточечный источник)	Сток/инфильтрация, задерживание, испарение	Ежеминутный/ Ежедневный	Подходит для сельскохозяйственных водосборов; Разработан для водосборов, на которых не проводили систематических наблюдений; Оценивает влияние лучших методов воздействия на уменьшение эрозии почвы и питательных веществ; Способен моделировать перенос и преобразование загрязняющих веществ.
AppAGNPS(Сельскохозяйственная модель неточечного источника загрязнения)	Гидрология, эрозия, перенос загрязняющих веществ, химических веществ	Ежедневный	Подходит для сельского хозяйства водосборов; Эффективен в отображения результата годовой и ежемесячной выборке; Показывает хорошие результаты в крупномасштабное моделирование стока, эрозии почвы и стоке питательных веществ; Оценка влияния природоохранных методов.
HSPF(Коэффициент сезонной эффективности отопления)	Гидрология, эрозия, загрязняющие вещества	Ежеминутный/ Ежедневный	Подходит как для сельскохозяйственных, так и для городских водосборов в длинных временных отрезках; Подходит для оценки влияния обработки точечных или неточечных источников загрязнения и изменений в землепользовании.
SWAT(Инструмент оценки почвы и воды)	Гидрология, метеорология, осадок, почва, рост урожая, загрязнители и сельскохозяйственные химикаты	Ежедневный	Применим для крупных сельскохозяйственных водосборов; Отлично подходит для расчета суммарных максимальных суточных нагрузок; Оценивает влияние методов направленных на уменьшение редуцирования и стока питательных веществ.
SWMM(Модель управления ливневой водой)	Сток, перенос и накопление/ обработка	Ежеминутный	Подходит для городского водораздела в штормовой период; Акцентирует внимание на концепции детального моделирования изменение качества, которая хорошо применяется к потокам, где время отклика мало.

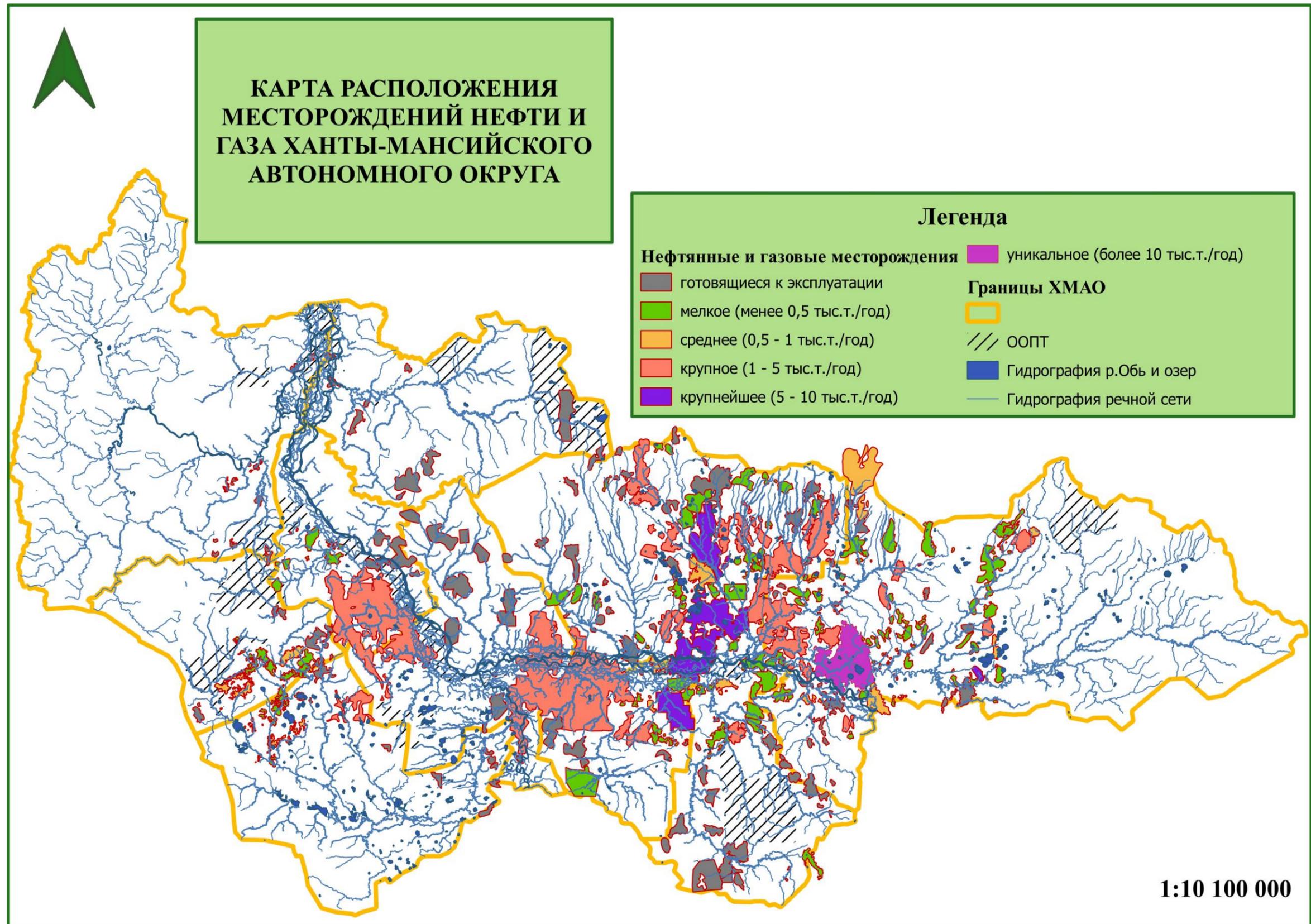


Рис.1. Карта расположения месторождений нефти газа ХМАО [составлено автором по данным [27]]

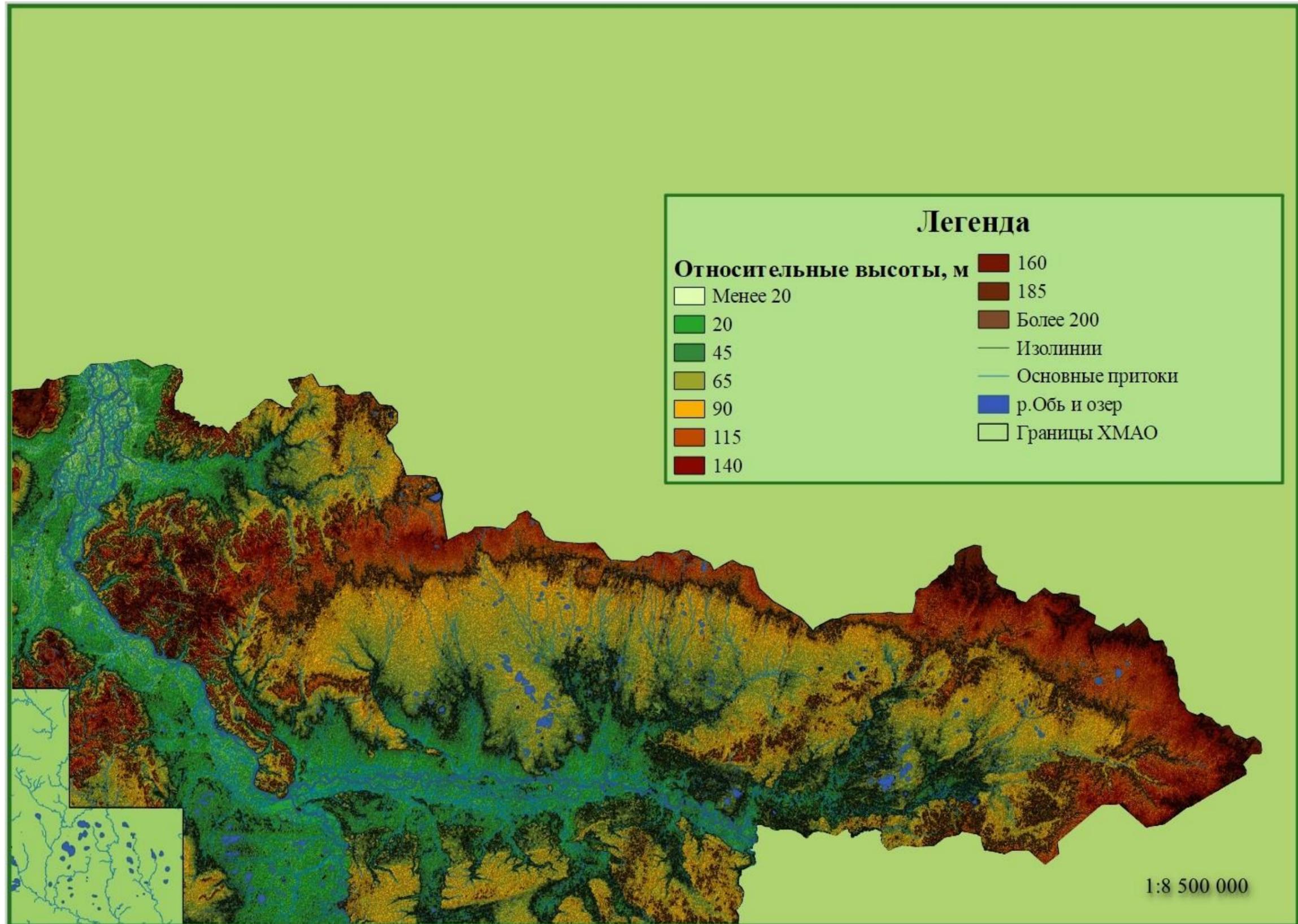


Рис.2. Цифровая модель рельефа ХМАО [составлено автором по данным сервиса <https://earthexplorer.usgs.gov>, данные со спутника ASTER]

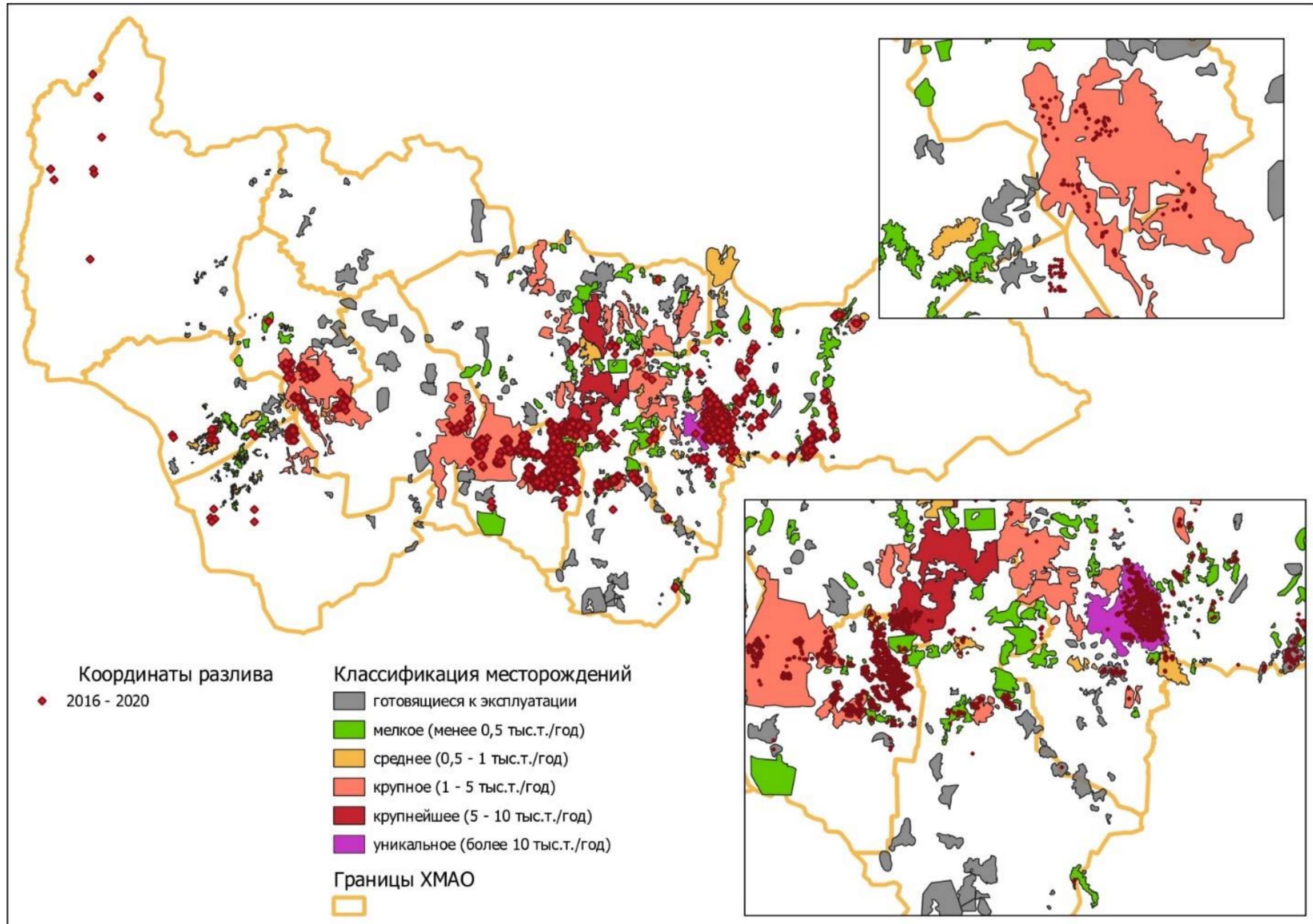


Рис.3. Карта расположения аварий на территории ХМАО с 2016 по 2020 г. [составлено автором по данным [27]]

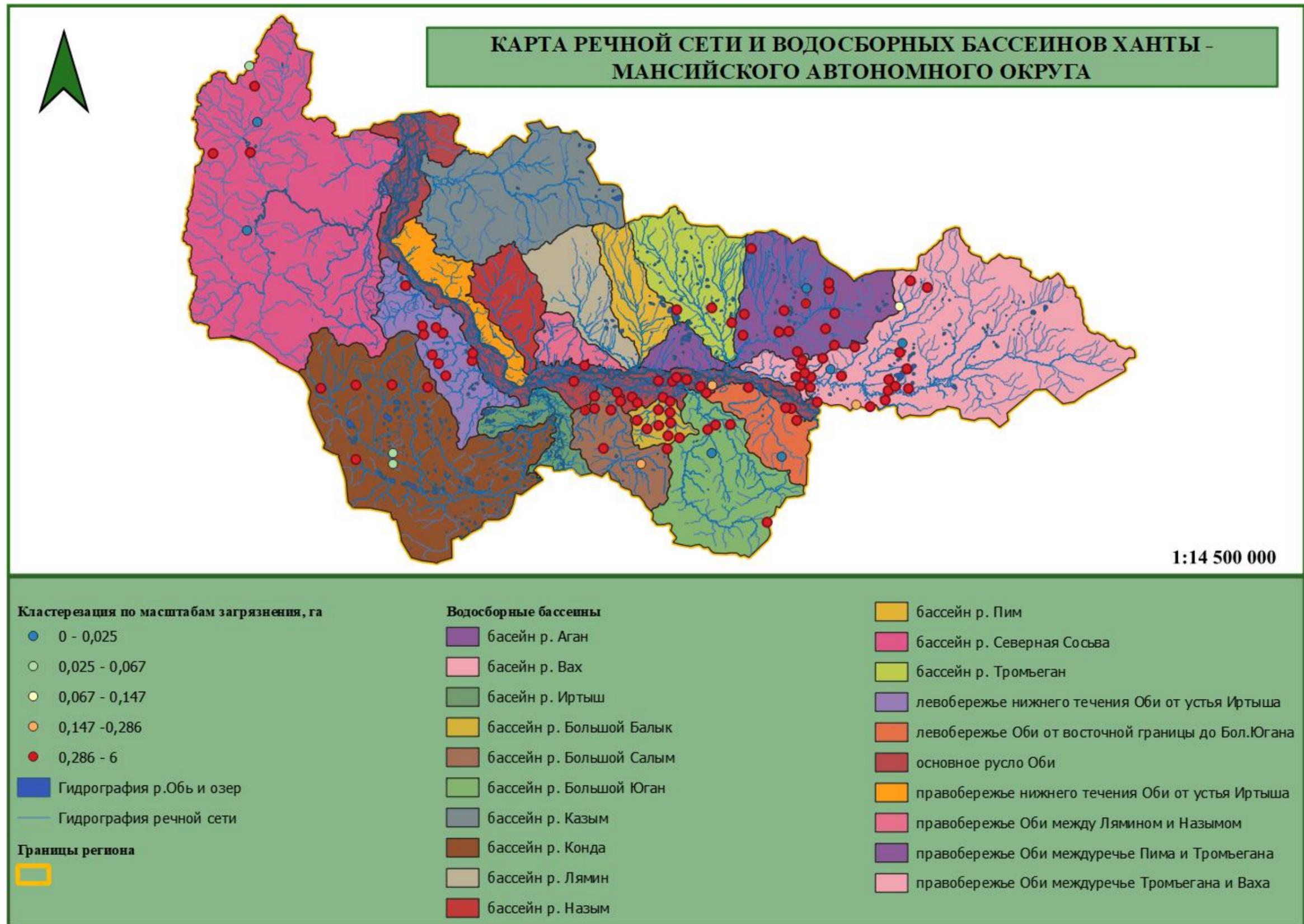


Рис.4. Карта речной сети и водосборных бассейнов ХМАО (с кластеризацией диффузных источников загрязнения) [составлена автором]