

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, доцент
 А.В. Синдирева
30.06 2023 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
магистерская диссертация

**ОЦЕНКА РОЛИ РАССРЕДОТОЧЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ
НЕФТЬЮ В ФОРМИРОВАНИИ КАЧЕСТВА ВОД РЕКИ ПЯКУ-ПУР**

05.04.06 Экология и природопользование

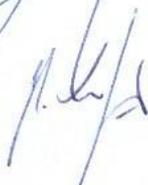
Магистерская программа «Геоэкология нефтегазодобывающих регионов»

Выполнил работу
студент 2 курса
очной формы обучения



Тунгусков Константин Романович

Научный руководитель
к.г.н., доцент



Хорошавин Виталий Юрьевич

Рецензент
к.г.н., ведущий эколог,
филиала «Тюменьгиротрубопровод»



Сорокин Роман Владимирович

Тюмень

2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. ОБЗОР МЕТОДОВ ОЦЕНКИ РАССРЕДОТОЧЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ	8
1.1. ТИПЫ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ	8
1.2. КЛАССИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ОТ РАССРЕДОТОЧЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ	10
1.3. ЭМПИРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ	11
1.4. ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЕ МОДЕЛИ	14
ГЛАВА 2. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОД Р. ПЯКУ-ПУР И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕССЫ РАССРЕДОТОЧЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ НЕФТЯНЫМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ	27
2.1. ТЕХНОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ И ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ	28
2.2. ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ.....	33
2.3. ГИДРОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ	35
2.4. ПОЧВЫ И РАСТИТЕЛЬНОСТЬ	40
ГЛАВА 3. ОЦЕНКА ВЫНОСА НЕФТЯНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ С РЕЧНЫМ СТОКОМ НА НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЯХ ЮГА ПУРОВСКОГО РАЙОНА	50
3.1. ЛАНДШАФТНО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ВОДОСБОРА	50
3.2. РАЗЛИВЫ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ВОДОСБОРЕ	60
3.3. РАСЧЕТ СУММАРНОГО ГОДОВОГО ВЫНОСА НЕФТЯНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ С ВОДОСБОРНОЙ ТЕРРИТОРИИ ВЕРХОВЬЕВ Р. ХАРУЧЕЙЯХА.....	64
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	72
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	74
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	88
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	89
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	90

ПРИЛОЖЕНИЕ 4	91
ПРИЛОЖЕНИЕ 5	92
ПРИЛОЖЕНИЕ 6	93

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- ВПТ – внутрипромысловый трубопровод
- ГНС – головная насосная станция
- ДНС – дожимная насосная станция
- ЗСНП – Западно-Суторминское нефтегазовое месторождение
- КНС – кустовые насосные станции
- КС – куст скважины
- ЛГЗ – ландшафтно-гидрологическая зона
- ЛГП – ландшафтно-гидрологическая провинция
- МНП – Муравленковское нефтегазовое месторождение
- МНТ – магистральный трубопровод
- НУВ – нефтяные углеводороды
- ПАУ – полиароматические углеводороды
- СНП – Суторминское нефтегазовое месторождение
- СФК – стокоформирующий комплекс
- США – Соединенные Штаты Америки
- УПСВ – установки предварительного сброса воды
- ЦИИГ – Центр индустриального инжиниринга и геоинформатики
- ЯНАО – Ямало-Ненецкий автономный округ

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы состоит в том, что активная хозяйственная деятельность на водосборных территориях приводит к снижению качества водных ресурсов. Большинство загрязнений, поступающих в водные объекты, связывают со сточными водами предприятий или очистных сооружений, недооценивая роль рассредоточенных источников, которые вносят основной вклад в загрязнение водных экосистем, так как не находятся под постоянным наблюдением и не могут беспрепятственно регулироваться. Под рассредоточенными источниками очень часто подразумевают смыв загрязняющих веществ с сельскохозяйственных и городских территорий. Тем не менее, несмотря на отсутствие городов, промышленных предприятий, сельскохозяйственных полей и пастбищ водные экосистемы южной части Пуровского района испытывают серьезные нагрузки. Это связано с активной добычей нефти и газа. В данном случае рассредоточенными источниками загрязнения, влияющими на качество водных ресурсов, являются аварийные разливы нефтепродуктов.

Актуальность работы определила постановку цели работы.

Цель работы – количественно оценить смыв нефтяных углеводородов от рассредоточенных источников загрязнения в пределах месторождений, расположенных в южной части Пуровского района, а также их влияние на качество поверхностных вод р. Пяку-Пур.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить ряд задач:

- Изучить существующие подходы и методы оценки смыва загрязняющих веществ, поступающих от рассредоточенных источников, акцентируя внимание на нефтяных углеводородах;
- Охарактеризовать природные условия формирования качества вод и смыва нефтяных углеводородов с водосборных территорий малых рек – притоков р. Пяку-Пур;

- Количественно оценить смыв нефтяных углеводородов с нефтезагрязненных водосборов малых рек, расположенных в бассейне р. Пяку-Пур.

Объектом исследования являются водосборы малых рек – притоков р. Пякупур. Ключевыми участками являются бассейны: р. Харучейяха, р. Текушеяха, р. Харучейтаркаяха, р. Ханупыяха, р. Пульпуяха.

Предметом исследования является смыв нефтяных углеводородов с нефтезагрязненных водосборов малых рек – притоков р. Пяку-Пур и его влияние на качество поверхностных вод бассейна р. Пяку-Пур.

На защиту выносятся:

- Эмпирическая модель количественной оценки выноса нефтяных углеводородов, поступающих от рассредоточенных источников загрязнения, с замазученных водосборов малых рек – притоков реки Пяку-Пур;

- Ландшафтно-гидрологическое районирование бассейна реки Пяку-Пур;

- Количественная оценка смыва нефтяных углеводородов с водосборных территорий – притоков реки Пяку-Пур.

В ходе работы был использован ландшафтно-гидрологический подход, на основе которого проведено моделирование смыва нефтяных углеводородов с водосборных территорий и проведены расчеты. В качестве сопровождающих методов использовался анализ, синтез, обобщение, классификация и описание.

Практическая значимость заключается в возможности использования работы как для дальнейших научных исследований, так и для разработки мер, направленных на снижение загрязнения, поступающего от рассредоточенных источников, распределенных по водосборной территории.

Источником информации для написания работы послужили труды отечественных и зарубежных ученых о количественной оценке загрязняющих веществ, поступающих от рассредоточенных источников, а также предоставленные Центром индустриального инжиниринга и геоинформатики ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет» материалы о размерах нефтезагрязненных участков на территории Муравленковского нефтегазового месторождения за 2018 г.

Работа состоит из списка сокращений, введения, трех глав, заключения, списка используемых источников и приложений.

Работа включает восемьдесят семь страниц машинописного текста, семь таблиц, семь рисунков, шесть приложений. Для написания работы использован сто один источник.

ГЛАВА 1. ОБЗОР МЕТОДОВ ОЦЕНКИ РАССРЕДОТОЧЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

В данной главе рассматриваются основные модели рассредоточенных источников загрязнения, используемые при оценке нагрузки, оказываемой ими на водные объекты. Рассматриваются как эмпирические, так и детерминированные модели, позволяющие оценить вклад рассредоточенных источников в загрязнение окружающей среды.

1.1. ТИПЫ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Перед тем как приступить к изучению рассредоточенных загрязнений водных объектов необходимо ознакомиться с типами источников загрязнения, которые подразделяют на:

- точечные источники, которые относительно стабильны по расходу и концентрации сбрасываемых в окружающую среду загрязняющих веществ. Диапазон, в котором могут изменяться их характеристики, меньше одного порядка величины. Количество сбрасываемых таким источником загрязнений не связано с изменением метеорологических факторов [Михайлов, 2000];

- неточечные источники - большей частью весьма динамичны, но изменения в их характеристиках происходят через произвольные, перемежающиеся интервалы. Причем «выходные параметры» источников могут изменяться на несколько порядков величины. Величина нагрузки от источника тесно связана с метеорологическими условиями, в особенности с осадками [Михайлов, 2000].

В свою очередь неточечные источники подразделяют на два типа. К первому типу относят урбанизированные территории с преобладающей долей водонепроницаемой или слабо водопроницаемой поверхностью. Ко второму же

типу относят внегородские территории, на которых инфильтрационные свойства поверхности близки к природным.

Мы используем понятие рассредоточенных источников, считая его более корректным, так как нефтяные разливы распределены по водосборной территории и их вклад в загрязнение водных экосистем зависит от их конкретного местоположения.

Также нельзя назвать источник загрязнения точечным или рассредоточенным, опираясь только на путь, по которому он попадает в реку. Поэтому, когда говорят о рассредоточенных источниках, чаще всего имеют в виду, территории водосборных бассейнов, с которых в тех или иных гидрологических условиях будут поступать загрязняющие вещества в водные объекты.

Практически любая деятельность человека на водосборе реки или озера может привести к рассредоточенному загрязнению соответствующего объекта, т. к. загрязняющие вещества, находящиеся вдали от поверхностных вод, могут вноситься на поверхность водосбора посредством выпадающих атмосферных осадков. Часть осадков стекает с поверхности водосбора непосредственно в водоем или водоток, а оставшаяся влага расходуется на почвенную инфильтрацию. Казалось бы, все, часть осадков впиталась в почву, а значит поверхностные воды в безопасности. Но в конечном счете поллютанты все равно попадают в водный объект посредством подземных вод. Таким образом, взвешенные в атмосферном воздухе вещества «вымываются» и поступают на территорию посредством осаждения.

1.2. КЛАССИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ОТ РАССРЕДОТОЧЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Для оценки загрязнения гидрологических объектов используются математические модели различных типов, подразделяющиеся на эмпирические, не содержащие с физической точки зрения аргументированной функции, связывающей данные с параметрами системы, характеризующими ее состояние, и детерминированные, опирающиеся на общие физические законы, а также представления о структуре системы и соответствующих ей внутренних процессах, формирующих отклик всей системы на определенные гидрологические события или хозяйственные мероприятия. Последние модели на основе учета структуры естественной системы и протекающих физических процессов подразделяются на концептуальные и физико-математические.

Концептуальные модели содержат в себе информацию о структуре исследуемой системы, но основываются на ее математическом описании по данным длительных наблюдений на входе и выходе. Такие модели чаще всего используются для кратковременных прогнозов при условии наличия должных данных по стоку [Михайлов, 2000].

Физико-математические модели основаны на физическом моделировании естественной системы и математических уравнениях, описывающих связь между компонентами данной системы. Эти модели дают оценку протекающих на водосборе изменений, приводящих к определенным последствиям. Но для разработки таких моделей необходимо наличие не только полной гидрометрической информации, но и данных о почвах и растительности, которые в свою очередь зависят от геолого-геоморфологических и климатических условий исследуемой территории [Михайлов, 2000].

1.3. ЭМПИРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

Большинство методик, позволяющих оценить вклад рассредоточенных источников в загрязнение водных объектов, было разработано в Соединенных Штатах Америки (далее – США) еще до начала 1980-х гг. С ними можно ознакомиться в работах [Amy et al., 1974; Heaney et al., 1976; McErloy et al., 1976; Naith, 1980].

К эмпирическим методам оценки рассредоточенного загрязнения водных объектов относится наиболее часто использующийся метод постоянных концентраций, характеризующий загрязняющие вещества посредством значения его концентрации.

$$C(t) \approx C_0 = \text{const}, \quad (1)$$

Где $C(t)$ – поступление загрязняющих веществ в водоем,

C_0 – концентрация исследуемого вещества.

Данный метод прост в использовании и позволяет проводить оценочные наблюдения прямо на водосборе, т. к. концентрацию загрязняющего вещества можно определить в полевых условиях. Но результаты, полученные при использовании данной модели весьма неточны, потому что не учитываются климатические особенности исследуемой территории.

Также к данным методам относится расчет модуля стока поллютанта, поступающего с единицы площади водосборного бассейна через его замыкающий створ в единицу времени [Михайлов, 2000].

$$L = \langle c \rangle Q d \Delta t, \quad (2)$$

где L – нагрузка с выбранного водосбора, кг,

$\langle c \rangle$ - среднее значение концентрации вещества в замыкающем створе изучаемой территории, рассчитанное на основе регулярных наблюдений в течение определенного периода Δt , кг/м³,

Qd – среднесуточный расход воды, наблюдаемый одновременно с концентрацией, м³/с.

Оценка величины L может быть верна только при условии постоянных значений расхода воды и концентрации загрязняющих веществ на протяжении всего периода исследований, что невозможно [Vollenweider, 1989].

Для оценки нагрузки от рассредоточенных источников загрязнения на неурбанизированные территории используется огромное количество регрессионных моделей, основанных на эмпирическом соотношении между концентрацией поллютантов и расходом воды в замыкающем створе водосбора.

В качестве примера можно привести модель [Betson, McMaster, 1975] в которой концентрация C выражается в виде степенной функции от модуля водного стока:

$$C = a \cdot (Q/A)^b, \quad (3)$$

где A – дренируемая площадь, измеряемая в квадратных милях, а расход Q задается в сантифутах в секунду. Параметры a и b являются характеристиками водосборного бассейна. Для определения этих параметров существует следующее уравнение:

$$a = n_1 F + n_2 C + n_3 S + n_4 I + n_5 U, \quad (4)$$

в котором n_i – коэффициенты регрессии, F – доля площади водосбора, покрытая лесом, C , S , I , U – доли дренируемой территории под известняковыми, песчано – сланцевыми, вулканическими и нескальными породами соответственно.

Данная модель обладает серьезным недостатком, она не позволяет учитывать множество значимых факторов, влияющих на минеральный состав стока с водосборного бассейна, например, объем внесенных удобрений.

Есть и более сложные регрессионные модели, позволяющие рассчитать нагрузку от рассредоточенных источников загрязнения. В качестве примера можно привести работу [Chesters et al., 1978] в которой выведена модель, учитывающая количество вносимых удобрений, а также площадь сельскохозяйственных угодий, занятых разными культурами. В дальнейшем, авторы, занимающиеся данной тематикой, стали избегать внедрения большого количества параметров, влияющих на появление экспериментальных ошибок.

Примером может послужить работа [Cann, 1995] в которой эмпирическая модель строилась на корреляции увеличения концентрации нитратов с развитием свиноводческих ферм на водосборной территории.

Наши соотечественники тоже занимались разработкой эмпирических уравнений. Модель позволяющая оценить биогенную нагрузку на водотоки [Методические..., 1988] была разработана командой ученых под руководством профессора Н. П. Хрисанова. Данная методика позволяет рассчитать вынос биогенных веществ с водосборов, на которых ведется выращивание сельскохозяйственных культур на любых территориях за исключением зоны вечной мерзлоты и засушливых районов.

Помимо разработки моделей, позволяющих оценить вклад рассредоточенных источников, образующихся от сельского хозяйства, были разработаны модели, учитывающие нагрузку от урбанизированных территорий. В работах были построены эмпирические модели, связывающие концентрацию загрязняющих веществ, поступающих с городских территорий с параметрами водосборов [McErloy et al., 1976; Pisano, Querioz, 1977; Miller et al., 1978].

Также была разработана модель, позволяющая оценить поступление нефтяных углеводородов (далее – НУВ) с поверхности водосборов [Калинин, 2001]:

$$\mu = a_m M_3 [1 - \exp(-a_g f_3 / F)] + a_\phi M (1 - f_3 / F), \quad (5)$$

Где μ – модуль смыва нефти, мг/с*км²,

a_m – параметр, равный концентрации нефтепродуктов в замыкающем створе при $M_3 = 1$ и максимальной степени нефтяного загрязнения водосбора,

a_g – параметр, характеризующий подвижность компонентов нефти, связан с возрастом разливов,

M – обобщенный по территории модуль стока воды, л/с*км²,

M_3 – модуль стока воды с нефтезагрязненной части водосбора,

f_3 – площадь нефтезагрязненных земель на водосборе, км²,

F – площадь водосбора, км²,

$a_{\text{ф}}$ – параметр, равный концентрации нефтепродуктов в замыкающем створе при отсутствии нефтезагрязненных земель (фоновое состояние).

1.4. ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЕ МОДЕЛИ

Детерминированные модели водосбора водного объекта разрабатываются, опираясь на процесс отображения результатов внешних воздействий на исследуемую систему (рис. 1) с учетом внутренних связей между компонентами.

Данные модели принято подразделять на три группы:

Первую группу представляют простые модели, использующиеся для оценки стока загрязняющих веществ с водосборных территорий по известному уровню загрязнения [Михайлов, 2000].

К ним относятся так называемые нульмерные, или камерные, модели, позволяющие проследить изменения в системе «водоем – водосбор» с учетом неоднородности территории. Это достигается посредством разделения исследуемой территории на систему частных водосборов (камер). Затем формируется представление о нагрузке загрязняющих веществ на весь водосбор путем суммирования концентрации поллютантов в створе каждой отдельной части, составляющей водосборный бассейн.

Вторую группу составляют модели, основанные на исследовании верхнего слоя почвы, а именно на оценке преобразования и перемещения находящихся в нем загрязняющих веществ. Модели данной группы позволяют узнать в каком количестве поллютанты, проходящие через слой почвы, попадут в гидрологические объекты с помощью подземных вод.

Модели, основанные на анализе загрязнения подземных вод, составляют третью группу.

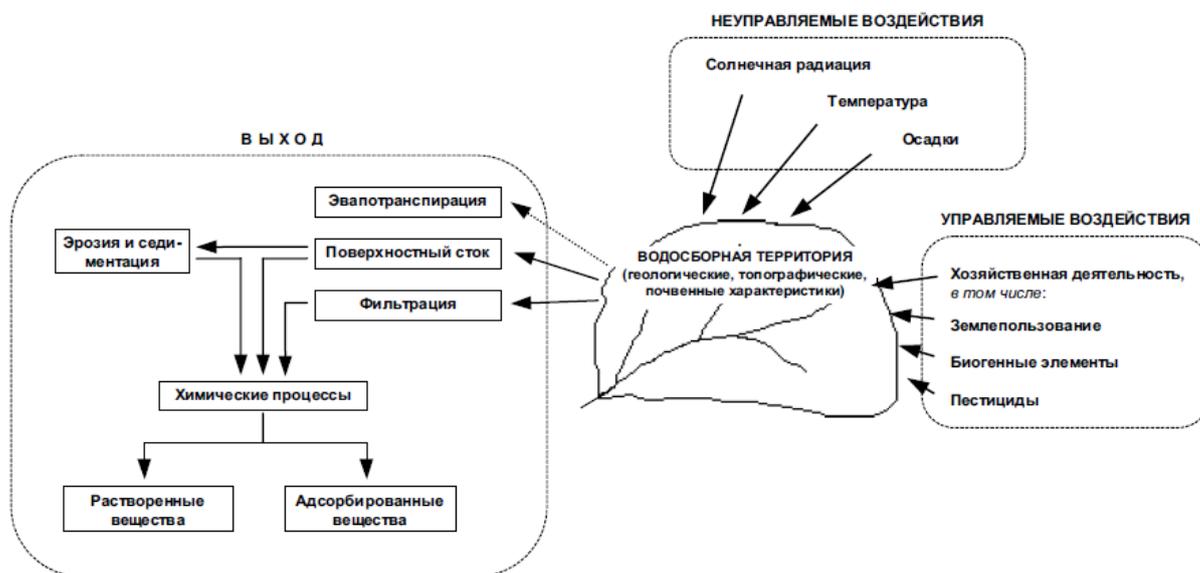


Рисунок 1. Схема основных потоков, определяющих формирование нагрузки от рассредоточенных источников на водосборе [Михайлов, 2000].

Разработкой детерминированных моделей занимались наши соотечественники. В трудах С. А. Кондратьева можно ознакомиться с моделью, выведенной на основе дрезденской модели формирования стока [Becker, 1975]. Автору удалось создать модель для расчета выноса биогенных элементов с малого лесного водосбора [Кондратьев, 1990]. Еще одна модель была создана для прогноза загрязнения поверхностным стоком рек ближней зоны Чернобыльской атомной электростанции и Киевского водохранилища [Возженников и др., 1990]. Модель, учитывающая перенос загрязняющих веществ внутри почвы, была разработана для оценки смыва радионуклидов с водосборных территорий, загрязненных в результате Чернобыльской аварии [Борзилов и др., 1989]. Затем, на ее основе была выведена модель, позволяющая оценить поступление загрязняющих веществ с водосбора, подверженного промышленной добыче ртути в водохранилище, расположенное на р. Катунь [Сухенко и др., 1993].

В США загрязнение водосборных территорий при ведении сельского хозяйства остается ведущей политической задачей по улучшению качества воды

[Keiser, 2019]. Рассредоточенный характер сельскохозяйственных стоков делает проблему труднорегулируемой в связи с неоднородностью распределения ферм и предприятий. Согласно данным, собранным Агентством по охране окружающей среды США рассредоточенные источники в 69% являются причиной ухудшения качества воды в поверхностных водотоках и в 75% в водохранилищах [Texas Nonpoint..., 2017]. Поэтому, на данный момент времени, решение этой проблемы стало одним из основных направлений исследовательской деятельности. Область исследования современных ученых включает в себя разработку моделей, связывающих методы управления и производственные решения с реальным поведением загрязняющих веществ в природной среде [Lichtenbegr et al., 2010; Plantinga, 2015]. Такие модели применяются для оценки оптимального распределения методов ведения сельского хозяйства, направленных на снижение загрязнения от рассредоточенных источников [Feng et al., 2006; Rabotyagov et al., 2014, Bostian et al., 2015, Whittaker et al., 2017].

Политические подходы к рассредоточенному загрязнению различаются в разных странах. США реализовали ограниченное количество агроэкологических программ (далее – АЭП) по сравнению с государствами, входящими в Европейский Союз (далее – ЕС). Члены ЕС реализовали более широкий спектр АЭП в рамках общей сельскохозяйственной политики (далее – ОСП), представляющей собой систему субсидий, выплачиваемых фермерам. Основная цель политики – гарантировать минимальный уровень производства, покрывающий потребности европейцев в еде с помощью различных управленческих стимулов. Директива о нитратах, принятая в 1991 году направлена на защиту качества воды во всей Европе путем предотвращения загрязнения почвы и поверхностных вод нитратами от рассредоточенных источников [Council directive, 1991]. Рамочная директива по водным ресурсам позволяет регулировать качество воды не в пределах административных единиц, а в пределах естественных речных бассейнов [https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/key-policies/common-agricultural-policy/cap-glance_en].

На данный момент существует множество литературы по влиянию субсидий на производительность [Piot-Lepetit and Le Moing, 2007; Mary, 2013; Bostian et al, 2020], на экологическую эффективность [Watzold et al., 2008; Pufahl and Weiss, 2009; Chabe-Ferret and Subervie, 2013; Laukkanen and Nauges, 2014, Haas et al., 2017], а также на участие фермеров в программах по защите окружающей среды [Hynes et al., 2008; Giovanopoulou et al., 2011]. В США сельскохозяйственная политика, направленная на снижения загрязнения от рассредоточенных источников, полагалась в основном на вывод земель из эксплуатации, но в последнее время стали внедряться методы управления землями без их консервации [Bayliss at al., 2008]. Используются такие методы, как обработка почвы, контроль внесения удобрений, создание фильтров и буферов, улавливающих и задерживающих поллютанты [Bostian et al., 2021]. Каждый штат борется с рассредоточенными источниками загрязнения разрабатывая определенные программы. Рассмотрим в качестве примера Техасскую программу управления.

Техасская комиссия по окружающей среде регулярно оценивает и контролирует качество воды на основе данных полученных федеральными, региональными и местными агентствами. По имеющейся информации о пострадавших водных объектах составляется интегрированный отчет. Затем, по каждому водосборному бассейну разрабатывается стратегия по устранению проблем, вызванных рассредоточенными источниками. В дальнейшем выбираются приоритетные водоемы и водотоки, на которых, если они загрязнены, необходимо провести работы по улучшению качества воды или же усилить защиту неповрежденных. Для реализации программы составляются планы защиты водоразделов и суммарная максимальная суточная нагрузка (Total Maximum Daily Load – далее TMDL). Успешная реализация зависит от быстрого реагирования и постоянного участия заинтересованных лиц на различных уровнях управления. Для максимальной эффективности необходимо тесное сотрудничество с соседними штатами, региональными и местными

организациями. Немаловажно спонсирование деятельности, направленной на улучшение качества воды [Texas Nonprofi..., 2017].

Ежегодно выпускается отчет, содержащий в себе информацию о состоянии водных ресурсов штата, находящихся под угрозой. Для каждого объекта идентифицирован загрязнитель и выделен приоритет для разработки TMDL (рис.2). В данном списке водные объекты содержатся до тех пор, пока не будет разработан TMDL и агентство по охране окружающей среды США не утвердит его [Texas Integrated..., 2020].

2020 Texas Integrated Report - Texas 303(d) List (Category 5)

SegID: 0104 Wolf Creek From the Oklahoma State Line in Lipscomb County to a point 2.0 km (1.2 mi) upstream of FM 3045 in Ochiltree County		
<u>Impairment Description(s)</u>	<u>Category</u>	<u>Year Segment First Listed</u>
Temperature in water	5c	2018
0104_01	From the Oklahoma State Line upstream to the confluence with Plum Creek	

SegID: 0105 Rita Blanca Lake Rita Blanca Lake - from Rita Blanca Dam in Hartley County up to the normal pool elevation of 3860 feet (impounds Rita Blanca Creek)		
<u>Impairment Description(s)</u>	<u>Category</u>	<u>Year Segment First Listed</u>
Depressed dissolved oxygen in water	5c	2018
0105_01	Rita Blanca Lake from Rita Blanca Dam up to the normal pool elevation of 3860 feet	
<u>Impairment Description(s)</u>	<u>Category</u>	<u>Year Segment First Listed</u>
pH	5c	2006
0105_01	Rita Blanca Lake from Rita Blanca Dam up to the normal pool elevation of 3860 feet	

Рис 2. Фрагмент отчета качества поверхностных вод Техаса за 2020 год [Texas Integrated Report, 2020].

В настоящее время основной проблемой при разработке TMDL является количественная оценка загрязняющих веществ, поступающих от рассредоточенных источников. Данная проблема подчеркивает необходимость улучшения мониторинга водных объектов и разработки методов анализа для идентификации источников загрязнения. Более детальное изучение рассредоточенных источников позволит сделать шаг к устранению недостатков в разработке нормативов TMDL и стратегий, направленных на восстановление нарушенных гидрологических объектов, а также позволит защитить здоровье

населения и развить методы управления для предотвращения дальнейшего загрязнения поверхностных вод [Reitz, Hemric, Hall, 2021].

Отличительной особенностью США от других стран является отличное информирование заинтересованных сторон о состоянии водных ресурсов и проблеме рассредоточенных источников. Очень важно привлекать людей на раннем этапе загрязнений с целью получения их помощи и поддержки. Для них создаются форумы, на которых они могут получать информацию, а также обсуждать различные моменты, связанные с очищением и защитой водных объектов. Заинтересованными сторонами являются как граждане, так и организации:

- Живущие на водораздельной территории и пользующиеся водными ресурсами;
- Страдающие от проблем качества воды;
- Влияющие на качество воды;
- Обладающие законодательными или нормативными обязанностями, связанными с качеством воды;
- Помогающие разрабатывать и реализовывать планы по улучшению качества воды;
- Финансово заинтересованные в управлении ресурсами.

Для удобства информирования общественности о деятельности и намерениях агентств, занимающихся улучшением качества поверхностных вод, комиссией была создана интерактивная веб-база данных (рис. 3-4), демонстрирующая заверченный или текущий проект, связанный с водотоком, его статус и краткое описание.

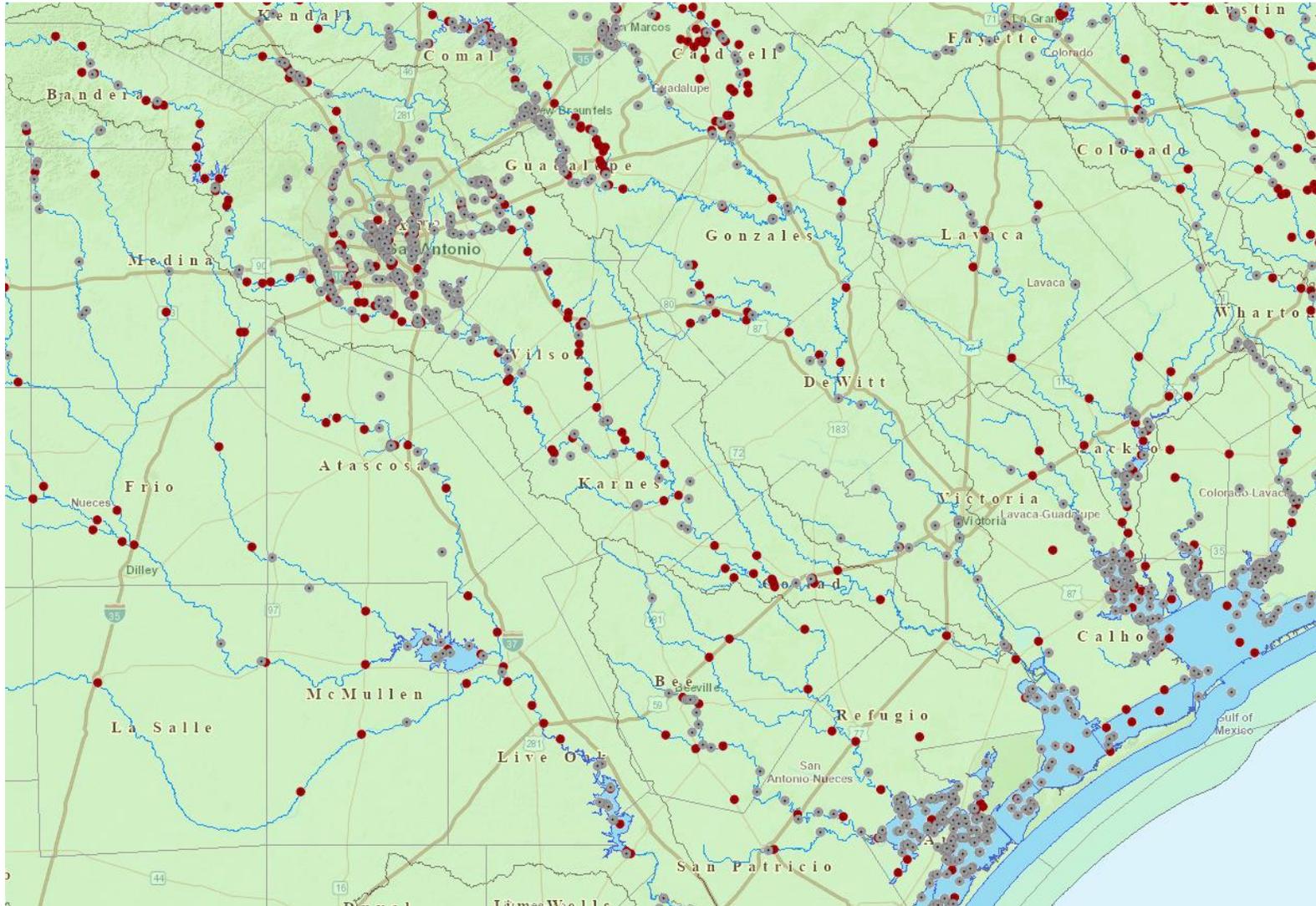


Рис. 3. Фрагмент интерактивной веб-базы данных «Surface Water Quality Web Reporting Tool»

<https://www80.tceq.texas.gov/SwqmisPublic/index.htm>

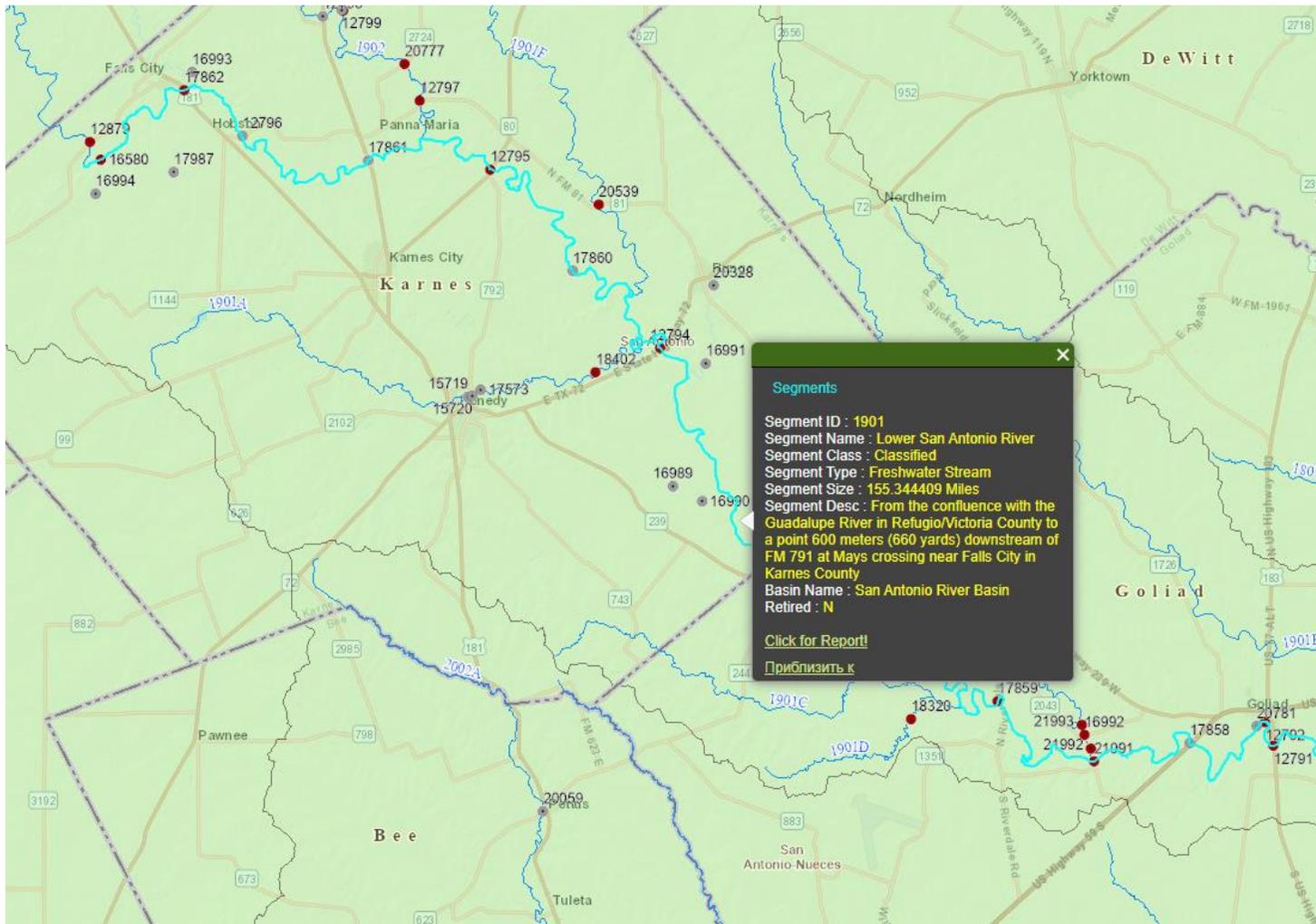


Рис. 4. Описание водотока на интерактивной веб-базе данных «Surface Water Quality Web Reporting Tool».

<https://www80.tceq.texas.gov/SwqmisPublic/index.htm>

При нажатии на «Click to report!» загрузится отчет (рис. 5), который содержит в себе подробную информацию о пунктах наблюдений, на которых ведется или проводился мониторинг. Также в таблице содержится информация о количестве загрязняющих веществ.

Parameter Name	Parameter Code	GTLT	Value
TURBIDITY, (JACKSON CANDLE UNITS)	70		0
SPECIFIC CONDUCTANCE, FIELD (US/CM @ 25C)	94		525
OXYGEN, DISSOLVED (MG/L)	300		10.5
CHEMICAL OXYGEN DEMAND, .025N K2CR2O7 (MG/L)	335		2
PH (STANDARD UNITS)	400		7.8
ALKALINITY, TOTAL (MG/L AS CaCO3)	410		195.8
RESIDUE, TOTAL NONFILTRABLE (MG/L)	530		3
RESIDUE, VOLATILE NONFILTRABLE (MG/L)	535		3
NITROGEN, AMMONIA, TOTAL (MG/L AS N)	610		0.14
NITRATE NITROGEN, TOTAL (MG/L AS N)	620		0.74
NITROGEN, KJELDAHL, TOTAL (MG/L AS N)	625		0.8
NITRITE PLUS NITRATE, TOTAL ONE LAB DETERMINED VALUE (MG/L AS N)	630		0.744
PHOSPHATE, TOTAL (MG/L AS PO4)	650		0.03
PHOSPHATE, ORTHO (MG/L AS PO4)	660	<	0.03
PHOSPHORUS, TOTAL, WET METHOD (MG/L AS P)	665		0.01
CHLORIDE (MG/L AS CL)	940		14
SULFATE (MG/L AS SO4)	945		17
FECAL COLIFORM, MEMBR FILTER, M-FC BROTH, #/100ML	31616		44
CHLOROPHYLL-A UG/L SPECTROPHOTOMETRIC ACID. METH	32211	<	4
PHEOPHYTIN-A UG/L SPECTROPHOTOMETRIC ACID. METH.	32218	<	4
RESIDUE, TOTAL FILTRABLE (DRIED AT 180C) (MG/L)	70300		252
ORTHOPHOSPHATE PHOSPHORUS, DISS, MG/L, FILTER >15MIN	70507	<	0.01
TEMPERATURE, WATER (DEGREES CENTIGRADE)	10		19
TEMPERATURE, WATER (DEGREES FAHRENHEIT)	11		66.2
FLOW STREAM, INSTANTANEOUS (CUBIC FEET PER SEC)	61		20
TURBIDITY, (JACKSON CANDLE UNITS)	70		5
SPECIFIC CONDUCTANCE, FIELD (US/CM @ 25C)	94		400

Рис. 5. Фрагмент таблицы, содержащей информацию о исследуемых показателях на водотоке [<https://www80.tceq.texas.gov/SwqmisPublic/index.htm>].

Большинство работ по загрязнению от рассредоточенных источников принадлежит китайским авторам. Связано это с быстрым экономическим ростом страны, который не только привел к 10-кратному увеличению валового внутреннего продукта за последние 15 лет [Zhang et al., 2011], но и снизил качество компонентов окружающей среды. Загрязнение почвы, воды и атмосферного воздуха привело к экологическим проблемам. По оценкам Всемирной Организации Здравоохранения ежегодно из-за плохой экологической обстановки гибнет 2,4 миллиона жителей Китая [Zhang, Xu, 2011]. Правительство, обеспокоенное сложившейся ситуацией, увеличило выделение средств для проведения научных исследований, позволивших сделать вывод о

том, что наибольший вклад в загрязнение окружающей среды вносят рассредоточенные источники [Ongley et al., 2010], которые в отличие от точечных, например, промышленных заводов тяжело контролируются ввиду отсутствия единого источника загрязнения. В связи с этим затруднено установление причинно-следственных связей, а значит и снижение вклада рассредоточенных источников загрязнения. Рост численности населения и быстрая урбанизация привели к проблемам с качеством питьевой воды [Zhang, 2019]. Обеспечение всех жителей страны чистой водой осложнено антропогенной деятельностью на водосборных территориях. Она настолько велика, что несмотря на все имеющиеся инструменты, позволяющие регулировать нагрузку на водосборы, качество воды оставляет желать лучшего. Как и в США проблема заключается в регулировании поллютантов, поступающих от рассредоточенных источников. В отличие от США информирование заинтересованных сторон находится на низком уровне. Поэтому для снижения загрязнения необходимо донести до всех людей, проживающих и/или осуществляющих деятельность на водосборных территориях о данной проблеме. Казалось бы, после информирования все начнут прилагать усилия для снижения нагрузки на водные объекты, но на практике восприятие и понимание экологических рисков существенно различается среди заинтересованных сторон, а связано это с различием менталитетов и отсутствием понимания серьезности проблемы [Crammatilopoulou et al, 2016]. Зачастую жители верховьев не задумываются о том, сколько они забирают воды и в каком состоянии они возвращают ее обратно в реку. Это приводит к загрязнению водотока и дальнейшим проблемам с качеством воды ниже по течению. В связи с этим, есть исследования, направленные на разработку стратегий для лучшего понимания между заинтересованными сторонами [Chiang et al, 2021]. Большая же часть рассредоточенных источников приходится на сельское хозяйство. С целью улучшения устойчивого развития правительство ввело серию мер, направленных на расширение посевных площадей. С одной стороны это привело к повышению масштабов и эффективности производства, а с другой – к проблеме

нехватки ресурсов для обслуживания и выращивания сельскохозяйственных культур. Данная проблема решается использованием химикатов и удобрений, которые в свою очередь загрязняют окружающую среду [Gao et al., 2021]. Поэтому, исследования, посвященные изучению рассредоточенных источников загрязнения в основном направлены на моделирование загрязнения сельскохозяйственных территорий: моделирование загрязнения рассредоточенных источников в результате диверсификации сельскохозяйственной экономики [Zhang et al., 2021]; оценка загрязнения рассредоточенными источниками района, большая часть территории которого занята фруктовыми садами [Wan et al., 2021]; оценка вклада растениеводства в рассредоточенное загрязнение Китая [Liu et al., 2021]; влияние тайфунов на пространственно-временное распространение рассредоточенных источников загрязнения в городах [Fu et al., 2021]; оценка вклада рассредоточенных источников в загрязнение р. Янцзы инсектицидами [Chen et al., 2019].

Российские ученые тоже занимаются данным направлением. Работы посвящены моделированию загрязнения рассредоточенными источниками поверхностных вод в бассейне р. Волги с урбанизированных территорий [Болгов и др., 2020], с сельскохозяйственных территорий [Кирейчева и др., 2020; Поздняков и др., 2020; Ясинский и др., 2020], а также с территорий на которых помимо полей и пастбищ расположены предприятия горнорудной, химической и металлургической промышленности [Даценко, Пулаков, 2020; Лепихин и др., 2020; Фащевская, Мотовилов, 2020].

Изучив работы по моделированию загрязнения, поступающего от рассредоточенных источников, можно сделать вывод о том, что данной проблемой на нефтегазодобывающих территориях Западной Сибири практически никто не занимается. Поэтому для дальнейшего исследования целесообразно использовать модель, разработанную В. М. Калининым.

Нам необходимо уравнение (5), которое на основании наблюдений и внедрения поправочных коэффициентов приняло следующий вид [Калинин, 2010]:

$$\mu = 0,42 M_3 [1 - \exp(-40f_3/F)] + a_{\phi}M (1 - f_3/F), \quad (6)$$

где μ – модуль смыва нефти, мг/с км²;

0,42 – эмпирически полученный коэффициент a_m для условий Среднего Приобья, равный концентрации нефтеуглеводородов в замыкающем створе при максимальной замазученности водосбора;

M_3 – модуль стока воды с нефтезагрязненной части водосбора, равный 1 л/с км²;

M – обобщенный по территории модуль стока воды, л/с км²;

F – площадь водосбора, км²;

a_{ϕ} – концентрация нефтеуглеводородов в замыкающем створе при отсутствии загрязнения земель нефтью, мг/л;

f_3 – площадь нефтяного загрязнения на водосборе.

Помимо описанного выше (6) необходимо уравнение, с помощью которого можно рассчитать величину концентраций НУВ, мг/л [Калинин, 2001]:

$$p = a_m M_3 / M [1 - \exp(-a_g f_3 / F)] + a_{\phi} M (1 - f_3 / F), \quad (7)$$

где, a_m – параметр, равный концентрации нефтепродуктов в замыкающем створе при $M_3 = 1$ и максимальной степени нефтяного загрязнения водосбора,

a_g – параметр, характеризующий подвижность компонентов нефти, связан с возрастом разливов,

M – обобщенный по территории модуль стока воды, л/с*км²,

M_3 – модуль стока воды с нефтезагрязненной части водосбора,

f_3 – площадь нефтезагрязненных земель на водосборе, км²,

F – площадь водосбора, км²,

a_{ϕ} – параметр, равный концентрации нефтепродуктов в замыкающем створе при отсутствии нефтезагрязненных земель (фоновое состояние).

С учетом поправочных коэффициентов [Калинин, 2010] уравнение примет следующий вид:

$$p = 0,42 M_3 / M [1 - \exp(-40 f_3 / F)] + a_{\phi} M (1 - f_3 / F), \quad (8)$$

Если же на участке водосборной территории отсутствуют разливы нефтепродуктов, то для расчета используются следующие формулы [Калинин, 2001]:

модуль смыва нефти, мг/с км²:

$$\mu = a_{\phi}M, \quad (9)$$

концентрация НУВ мг/л:

$$p = a_{\phi}. \quad (10)$$

Данная модель проверена в ландшафтно-гидрологических условиях водосборов малых рек, расположенных в таежной (лесоболотной) природной зоне. Преимущество модели состоит в том, что она учитывает фоновое содержание нефтяных углеводородов в реках региона и опирается на функциональную связь между смывом нефти и площадью загрязненных земель, полученную в ходе эксперимента в условиях северной тайги и лесотундры Западной Сибири [Хорошавин, Моисеенко 2014].

ГЛАВА 2. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОД Р. ПЯКУ-ПУР И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕССЫ РАССРЕДОТОЧЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ НЕФТЯНЫМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ

В главе описываются природные условия, формирующие качество поверхностных вод, а также их влияние на смыв нефтеуглеводородов с поверхности водосборной территории.

Основными факторами, формирующими качество поверхностных вод, являются геолого-геоморфологические особенности, гидролого-климатические условия, а также почвенно-растительный покров. Горные породы, слагающие территорию, регулируют химический состав вод района. Рельеф влияет на ландшафтные особенности. В течение длительного времени считалось, что главным фактором, формирующим качество поверхностных вод, является климат, влияющий на количество и интенсивность выпадения атмосферных осадков, питающих водные объекты. Но благодаря многочисленным исследованиям стало известно, что не менее существенным фактором является почвенный покров и произрастающая на нем растительность. Именно почва является посредником климата, ведь значительная часть осадков попадает на нее, а не на водную поверхность. Поэтому перед проведением исследований необходимо ознакомиться с природной характеристикой района, обладающей присущими только ей особенностями, а также с техногенным воздействием, оказываемым на территорию исследования.

2.1. ТЕХНОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ И ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ

В нефтедобывающих районах возникают нарушения природной среды, делящиеся на две группы:

- 1) Первичные – собственно техногенные, связанные со строительством или эксплуатацией промысловых объектов [Солнцева, 1998];
- 2) Вторичные – посттехногенные, являющиеся следствием реакции природных экосистем на техногенную нагрузку [Солнцева, 1998].

Данные нарушения связаны:

- А) с физическими воздействиями – механическими повреждениями почв и грунтов при работе техники [Солнцева, 1998];
- Б) с геохимическими воздействиями, проявляющимися при «технологических выбросах», зачастую возникающих в результате аварий на нефтегазопромысловых объектах [Солнцева, 1998].

Экологические следствия механических повреждений природных систем:

Механическая трансформация почв и грунтов начинается уже на этапе обустройства месторождений и сопровождается смещением равновесий в природных системах, приводящим к разрушению мезо-, микро- и нанорельефа ввиду нарушения грунтовых масс и изменения условий стока. Техногенная нагрузка приводит к активизации вторичных рельефообразующих процессов, возникающих не только из-за разрушения или полного уничтожения почвенного покрова, но и изменения теплофизических параметров грунта. Например, разрушение почв вдоль магистральных нефтепроводов (далее – МНП) в северотаежных ландшафтах Западной Сибири приводит к нарушению теплового баланса и температурных режимов, термоэрозии и термокарсту, сезонному и многолетнему пучению, растрескиванию грунтов, просадкам, суффозии [Солнцева, 1998].

В результате работы тяжелой техники повреждается или полностью уничтожается растительный покров, приводя к иссушению минеральных

горизонтов почв, тем самым облегчая дефляционное развевание песков, приводящее к развитию обширных техногенных арен [Васильевская и др., 1986], не зарастающих длительное время вследствие снижения запасов влаги в верхней части отложений [Солнцева, 1998], а также ввиду геохимической бедности субстратов.

При добыче строительных материалов для технических нужд промысла наблюдается сильное повреждение ландшафтов, сопровождающееся замещением суходольных северотаежных лесов бедлендами с плохой восстановимостью растительного покрова. Отсутствие растительности приводит к разрушению склонов карьеров в результате термоденудации, сопровождающейся переносом продуктов разрушения на дно карьера и отступлению бровки на несколько сотен метров [Солнцева, 1998].

Строительство дорог сопровождается гидронамывом песка. При данном процессе происходит отложение тонких взвесей песчано-илистого материала на поверхности почвы, что в совокупности с обводненностью территории в дальнейшем приводит к кольматажу (закупорке/засорению) верхних почвенных горизонтов и снижению аэрации, вследствие чего гибнет растительность [Солнцева, 1998].

Из вторичных нарушений природной среды наиболее активен гидроморфизм, возникающий из-за прокладки линейных технических сооружений, представляющих собой практически непроницаемыми барьеры, изменяющие естественные пути миграции внутрипочвенных потоков, создавая очаги переувлажнения со стороны движения почвенно-грунтовых вод. В результате переувлажнения территории происходит перестройка микробиоценозов, приводящая к изменению свойств почвы и смене растительных сообществ, тем самым активизируя процессы глеегенеза, приводящие к формированию болотных ландшафтов [Солнцева, 1998], которые в последствии напозаают на суходольные (вторичное заболачивание).

Также вторичный гидроморфизм сопровождается увеличением минерализации почвенно-грунтовых вод. Например, в районе Самоглора в

очагах придорожного затопления минерализация вод составляет 442 мг/л, а в водах фоновых почв 26-30 мг/л [Солнцева, 1998].

Изменения в ландшафтах происходят при подземном бурении, добыче НУВ и закачивании жидкости для поддержания пластового давления. При добыче нефти и газа падает внутрипластовое давление, сопровождающееся оседанием и уплотнением вмещающих пород, что приводит к проседанию земной поверхности, создавая тем самым благоприятные условия для затопления и заболачивания территории. Для того, чтобы не допустить значительную просадку территории при добыче флюидов в недра закачивают воду. Зачастую при закачке воды давление столба жидкости в скважине превышает пластовое давление на 1-4 МПа [Солнцева, 1998]. В связи с этим происходит отток подземных вод к поверхности и инфильтрации в почвенно-грунтовые воды [Пиковский, 1993], приводя к изменению их состава.

Интенсивность вертикального водообмена в ландшафтах территории меняется не только из-за перераспределения пластовых давлений, но и изменений температуры пластов [Солнцева, 1998]. В связи с продвижением теплой жидкости по трубопроводам увеличивается температура окружающих грунтов, усиливается вытаивание мерзлых пород и проницаемость глин. Все это приводит к ускорению латеральной и радиальной миграции.

Таким образом, техногенные нарушения природной среды приводят к закономерно сменяющимся вторичным реакциям. Происходит экологическая перестройка экосистем, которая может быть как обратимой, так и необратимой, в зависимости не только от продолжительности и вида техногенного воздействия на природно-территориальные комплексы, но и от сопровождающейся глубины сдвига почвенно-геохимических процессов [Солнцева, 1998].

Экологические следствия геохимических воздействий на природные системы:

Геохимическая активность загрязняющих веществ зависит от их количественного и качественного состава, что в совокупности со свойствами ландшафтов, в которые они попадают обуславливает особенности воздействия

на экологию природной среды. Не стоит забывать о том, что одни и те же вещества в разных условиях ведут себя неодинаково: в одних случаях они устойчивы и даже инертны, в других же преобразуются и взаимодействуют с почвенно-грунтовой массой [Солнцева, 1988].

Основные причины изменения геохимических процессов природной среды на территории месторождений обусловлены разливами техногенных потоков, возникающих в связи с несовершенством технологий и нарушением технологических регламентов. Помимо этого, загрязнители попадают в окружающую среду из-за коррозии металлов на долю которых приходится 60% аварий и дефектов оборудования, разрушающегося ввиду микробиологической деятельности анаэробных сульфатвосстанавливающих бактерий. Также большие объемы поллютантов выделяются в окружающую среду через неплотности оборудования и с открытых поверхностей амбаров и очистных сооружений. Не стоит забывать и про утечки из коммуникаций и земляных амбаров [Солнцева, 1998].

До начала эксплуатации месторождений на стадии бурения скважин в окружающую среду попадают загрязняющие вещества, содержащиеся в буровых растворах, шламах выбуренных пород и буровых сточных водах, степень токсичности которых зависит от состава и количества используемых при бурении реагентов и утяжелителей [Солнцева, 1998].

При эксплуатации месторождений поллютанты регулярно попадают в природную среду и начинают циркулировать, образуя геохимические ореолы загрязнений, создающие техногенные аномалии, элементы которых определяются составом нефти. Наиболее токсичными компонентами являются полиароматические углеводороды (далее – ПАУ), характеризующиеся ярко выраженной мутагенностью и канцерогенностью. Основная масса данных органических соединений попадает в природную среду в результате пиролиза углеводородов. Среди газов и аэрозолей, образующихся в результате пиролитических процессов, источниками которых являются факелы, запальные свечи, продувки скважин т. д, есть высокотоксичные: 3,4 бензапирен,

сероводород и тиолы, убивающие всю водную растительность при концентрации в воде всего 1%. Помимо ПАУ в состав нефти входят и другие вещества, например, смолы и асфальтены, которые тоже оказывают негативное воздействие на окружающую среду. Вместе с ними на поверхность поступают различные микроэлементы: As, Co, Cu, Pb, Hg, Ni, V, Fe, Mn и другие [Солнцева, 1998].

Процессы разложения нефти и нефтепродуктов в почвах севера Западной Сибири протекают крайне медленно, т. к. для разложения нефти необходимы температуры не ниже 6-10°, оптимально 24-30° [Солнцева, 1998]. Поэтому в Ямало-Ненецком автономной округе деградация нефти может длиться десятилетия. Выделяется несколько этапов преобразования поллютантов:

Первый этап – физико-химическое разрушение, дегазация, вынос нефти, ультрафиолетовая деструкция. На данном этапе содержание нефти в почве может снижаться на 40-50% [Солнцева, 1998] благодаря поверхностному стоку и испарению.

Второй этап – деградация нефти в результате жизнедеятельности микроорганизмов;

Третий этап – деградация полиаренов.

Вся суть разложения сводится к переводу нефтяных углеводородов в нерастворимые вещества – оксикериты и гуминокериты [Солнцева, 1998].

Не стоит забывать и про минерализованные пластовые воды, изменяющие состав и физико-химические свойства почв, грунтов, поверхностных вод.

Поверхностные воды тоже обладают способностью к самоочищению, зависящую от ландшафтно-геохимических условий территории и расходов воды конкретного водотока. В связи с этим сильнее всего страдают малые водотоки и непроточные или слабопроточные болота. Зачастую загрязняющие вещества попадают в них в результате смыва нефти поверхностным стоком с водосборной площади, причем количество поллютантов поступающих в гидрологические объекты данным способом имеет тот же порядок величин, что и при непосредственном сбросе техногенных потоков. В дальнейшем происходит

загрязнение крупных рек, расположенных за пределами территорий добычи нефти и газа, посредством привноса поллютантов загрязненными притоками. Самоочищения водных масс северных рек ослаблено ввиду климатических особенностей и происходит на отрезке 1500-2000 км, в то время как в средних широтах на отрезке 200-300 км [Солнцева, 1998]. Часть веществ легко растворяется в воде (легкие нефтепродукты и полиароматические углеводороды), а часть оседает на дно (битуминозные вещества), загрязняя донные отложения, которые зачастую становятся погребенными, снижая при этом скорость процессов самоочищения ввиду ухудшения аэрации и развития глеевых процессов.

2.2. ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

Район изысканий находится на юго-западе Пуровского района Ямало-Ненецкого автономного округа (далее – ЯНАО), который с геологической точки зрения относится к Обь-Надым-Иртышской антеклизе, а именно Южно-Надымской области пассивных поднятий [Атлас..., 1971]. Что касается толщи горных пород, верхняя часть сложена четвертичными отложениями, представленными морскими глинисто-карбонатными на водоразделах, аллювиальными песчано-суглинистыми в поймах рек, а также озерно-аллювиальными песчано-супесчаными, залегающими на надпойменных террасах [Земцов и др., 1988].

Элементы, из которых состоят породы попадают в природные воды в результате различных процессов, при которых они разрушаются. Именно поэтому для данной территории характерно повышенное содержание карбонатов и железа в воде. Помимо того, что горные породы, в той или иной степени влияют на химический состав как поверхностных, так и подземных вод, они обуславливают хозяйственную деятельность человека, а именно добычу полезных ископаемых. На данной территории широко развита нефтегазодобывающая отрасль, т.к. горные породы, преимущественно

представленные осадочными, ввиду особенностей своего формирования и сравнительной однородности по всей площади в совокупности с высоко органическими торфяными толщами, консервирующими в себе огромное количество углерода, являются нефтегазоматеринскими, способными выделять углеводороды. Именно поэтому, природная среда подвержена высокой техногенной нагрузке.

В связи с этим, на территории района присутствует многообразный антропогенный рельеф, представленный, согласно классификации Козина В. В., тремя классами форм: линейно-транспортный, карьерный и нефтегазопромысловый [Козин и др., 2008].

Район расположен на равнине высотой от 80 до 200 и более метров над уровнем моря [Атлас..., 2004] с отчетливым проявлением в рельефе структур платформенного чехла с однородным развитием по всей площади. Холмисто-увалистый рельеф приурочен к южной части района, а именно к Сибирский Увалам, сменяющимся при движении на север слабыми поднятиями с параллельно-грядовым рельефом, который ввиду своего строения заболочен по низинам.

Тем не менее причиной широкого распространения болот и озер является не только плоский рельеф, с которым связан замедленный поверхностный сток и слабый дренаж грунтовых вод, но и избыточное увлажнение района. В связи с этим процессы заболачивания заметно усиливаются и площадь болот в верховьях р. Пур достигает 90% от всей площади территории. Здесь преобладают северотаежные олиготрофные болота, среди которых разбросаны маленькие дистрофные торфянико-болотные озера. Эрозионно-аккумулятивный рельеф даже на низких речных террасах выражен довольно слабо и не вызывает изменения поверхности. Древние эоловые формы рельефа встречаются в долинах рек, протекающих по территории района, и представляют собой мелкобугристые поверхности перевеянных песков, закрепленные древесной растительностью. Современные формы рельефа, обусловленные деятельностью ветра, присутствуют в долине р. Пур в виде воронок, котловин и площадок

выдувания. Также распространены мерзлотные формы рельефа. Инъекционные бугры пучения формируются в условиях разгрузки напорных грунтовых вод и, соответственно, в их строении присутствуют хорошо водопроницаемые песчаные отложения. Причиной возникновения термокарстовых котловин является денудация, ярко проявляющаяся на буграх пучения.

Преобладающий на данной территории слабонаклонный плоский рельеф благоприятно влияет на развитие и распространение огромного количества различных гидрологических объектов.

2.3. ГИДРОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Район находится в умеренно таежном климатическом поясе, который характеризуется 75-80 дневным периодом со среднесуточной температурой выше 10 °С, суммы которых составляют 1000-1100 °С. В окрестностях Муравленко устойчивые морозы длятся около 180 дней, так как даже в мае среднемесячная температура составляет -2 °С. Через 0 °С средняя температура месяца переходит только в начале июня и воздух прогревается до 6-11 °С. Заморозки возможны во все летние месяцы без исключения. Температура повышается в июле, в среднем до 14-16 °С. Положительные температуры воздуха сохраняются до конца сентября (+6 °С), а в начале октября отмечается переход через 0 °С и уже в конце месяца температура переваливается через отметку в -10 °С. Средняя температура декабря ниже -20 °С. Безморозный период в целом длится всего лишь 70-90 дней [Атлас..., 2004].

Температура поверхности почвы зависит от множества факторов и распределяется аналогично температуре воздуха. Зимой почва незначительно (на десятые доли градуса) холоднее воздуха, а в летние месяцы на пару градусов теплее. Температурный минимум наблюдается в феврале и составляет -32 °С, максимум – в июле (31 °С). Что касается заморозков, то по сравнению с воздухом они прекращаются позже, а возобновляются раньше. Среднегодовая температура на поверхности почвы составляет -5 °С [Атлас..., 2004].

Циклоническая деятельность, являющаяся основным источником увлажнения и облакообразования, наиболее активна с сентября по ноябрь (21-23 дня в месяц), а наименее активна в феврале и в теплое время года (17-18 дней в месяц). Что касается антициклонов, то наибольшее число дней с высоким давлением отмечается в июне и августе (13 дней в месяц), а наименьшее в октябре (8 дней в месяц). Таким образом, можно сделать вывод о преобладании циклонической деятельности, которая наблюдается 232 дня в году [Атлас..., 2004].

В связи с этим увеличивается число пасмурных дней (160-170 в году) и, соответственно, снижается поступление возможной солнечной радиации на 63%, и годовая продолжительность солнечного сияния на территории района достигает только 1600 часов. Наибольшие значения поступления суммарной солнечной радиации наблюдаются в летние месяцы, а наименьшие – зимой. Весной начинается быстрый рост и достигает максимальных значений в мае – 670 МДж/м². Годовой приход суммарной солнечной радиации составляет 3100-3200 МДж/м² [Атлас..., 2004].

Суммарная солнечная радиация, поступающая на земную поверхность, частично отражается. В связи с разнообразным альбедо естественной поверхности летом отражается только 25% приходящей радиации, а зимой из-за образования устойчивого снежного покрова отражается 80%. В целом за год земная поверхность отражает 40-56% приходящей солнечной радиации и годовое количество поглощенной солнечной радиации составляет 1900 МДж/м². Радиационный баланс в сумме за год равен 900 МДж/м². Максимальные значения отмечаются в июне (335 МДж/м²), а минимальные – в январе (-50 МДж/м²). В зависимости от продолжительности периода залегания снежного покрова период с положительным радиационным балансом составляет от 5 до 6 месяцев. В большинстве случаев переход от отрицательных значений к положительным происходит во второй декаде апреля, а от положительных к отрицательным – в начале октября [Атлас..., 2004].

Вследствие определенного расположения барических полей в годовом ходе режима ветра проявляется муссонная циркуляция. В холодное время года преобладают южные и юго-западные ветра (65%), в теплое время года – северные (58-63%) [Атлас..., 2004].

За год выпадает 400-450 мм осадков. Твердые осадки, на которые приходится 30-40% годовой суммы, выпадают с октября по апрель, но могут наблюдаться и летом. Большая же часть выпадает в первые месяцы зимы, а годовой минимум приходится на февраль (13-19 мм). В межсезонье возрастает роль смешанных осадков, суммы которых постепенно увеличиваются и в мае достигают 26-30 мм. Больше половины годовой суммы осадков выпадает в жидком виде в период с апреля по октябрь. Максимальное количество осадков, в виде дождей, выпадает в июле – августе и составляет 65 мм. Осенью их количество уменьшается и на октябрь приходится 30-40 мм. Избыточное увлажнение территории обуславливает низкая обеспеченность теплом и невысокая испаряемость [Атлас..., 2004].

Влажность воздуха характеризуется упругостью водяного пара, которая достигает наименьших значений, как и температура воздуха, зимой – в январе – феврале. Наибольшие же значения отмечаются в июле и составляют в среднем около 12 мбар. Помимо парциального давления водяного пара, находящегося в воздухе, влажность воздуха характеризуется степенью насыщения водяным паром и в среднем за год составляет 76%. Наибольших значений относительная влажность воздуха достигает в декабре (80-84%), а минимальных в июне (60-65%). Годовое число дней с относительной влажностью воздуха более 80% составляет 150-200 [Атлас..., 2004].

Таким образом, в связи с климатическими особенностями, выражающимися низкой годовой суммой температур, преобладающей циклонической деятельностью и низкой испаряемостью на территории района наблюдается переувлажненность, предотвращающая пересыхание многочисленных озер и болот, влияющих на питание рек, посредством

выполнения ландшафтно-стабилизирующих функций, а именно водозапасающей и водорегулирующей.

Реки, протекающие по территории исследований, согласно гидрологическому районированию, относятся к Пур-Тазовскому подрайону. Соответственно реки района обладают весенне-летним половодьем и паводками в теплое время года, а именно в период с июня по сентябрь, когда разность температуры воды и воздуха положительна [Антипов и др., 1989].

Половодье, характеризующееся быстрым и высоким подъемом уровня воды и медленным спадом, начинается в начале мая, максимум проходит уже в начале июня, а заканчивается в конце июля – начале августа. Таким образом, высокий и продолжительный подъем уровня воды длится 80-90 дней. Объем стока половодья составляет 54,5% годового. Затем наступает летне-осенняя межень, которая длится в среднем по 22 сентября. Летние и осенние паводки сливаются вместе и образуют повышенный летне-осенний сток, но не превышающий половодья (24,2%). Затем появляются ледовые образования в виде заберегов, шуги, реже сала, средние сроки появления которых приурочены к 10-15 октября. Зимняя межень в среднем начинается 15-25 октября, а заканчивается в середине мая, длится 215-240 дней и дает 21,5% объема годового стока. Соответственно, реки района отличаются устойчивым годовым стоком, т. к. в их бассейне осадки выпадают и распределяются равномерно [Ресурсы..., 1973].

В связи со слабой изученностью малых рек и, соответственно, отсутствием данных, рассмотрена р. Пяку-Пур в створе г. Тарко-Сале за период наблюдений с 1954 по 1968 гг. Среднегодовой модуль стока $9,18 \text{ л/сек*км}^2$, среднегодовой расход воды $288 \text{ м}^3/\text{с}$ и слой стока 290 мм. Средний максимальный расход воды во время половодья равен $2080 \text{ м}^3/\text{сек}$, а средний слой стока во время этой фазы водного режима составляет 140 мм. Что касается минимального стока, то во время зимней межени средний объем воды, протекающий через поперечное сечение водного потока за единицу времени равен $134 \text{ м}^3/\text{сек}$ [Ресурсы..., 1973].

Рассматриваемый район относится к первой зоне мутности воды (менее 25 г/м³), так как эрозионные процессы развиты только в руслах рек. В связи с этим сток взвешенных и влекомых наносов распределяется в течение года равномерно. Отложения рек состоят из песка (75-98%) с небольшим содержанием пылевидно – илистых фракций (2-10%) [Ресурсы..., 1973].

Скорости течения рек района из-за особенностей рельефа незначительны. Соответственно, поллютанты, поступившие в воду в верховьях малых рек, будут довольно-таки долго доставляться в крупные реки.

Подземный приток формируется под влиянием климата и местных физико-географических особенностей характерных для данного района [Михайлов и др., 2007]. Например, однородное геологическое строение и равнинный рельеф в совокупности с переувлажненным климатом обуславливают избыток влаги, который благополучно просачивается через рыхлые грунты, питая подземные воды. Наибольшая величина подземного притока в реки (до 3,0-3,5 л/сек. км²) [Ресурсы..., 1973], связанная с областью повышенных атмосферных осадков, наблюдается на территории Сибирских увалов, т. е. в верховьях р. Пур. В связи с этим на данной территории доля подземного стока составляет 30% от общего стока. В целом речной сток формируется в результате поступления жидких осадков, подземных вод и талых вод сезонных снегов. Согласно классификации М. И. Львовича реки, протекающие в районе исследований, имеют преимущественно снеговое питание [Михайлов и др., 2007], которое дает 50% годового стока. Затем идет подземное (30%) и дождевое, сообщающее 15%.

Следовательно, нефтяные углеводороды попадают в поверхностные воды преимущественно посредством снеготаяния. Это значит, что большинство загрязняющих веществ попадает в водоемы и водотоки в летний период, т. к. в это время наблюдаются положительные температуры воздуха, снег тает и гидрологические объекты полностью освобождаются ото льда. Именно в это время будет наблюдаться наибольшая концентрация поллютантов в природной воде, но не стоит забывать о половодье, при котором уровень воды становится выше, а значит концентрации разбавляются. В связи с этим можно войти в

заблуждение и сделать вывод о том, что концентрации незначительны, но это не значит, что загрязнителей поступило меньше, чем было на самом деле. Поэтому отбор проб необходимо проводить после спада данного гидрологического режима – в конце лета.

Загрязнители, попадая в гидрологические объекты оседают на дно, но с течением времени вновь поднимаются на поверхность и образуют пленку, таким образом, донные отложения становятся источником вторичного загрязнения. Это происходит из-за полной циркуляции вод, возникающей вследствие температурных изменений между слоями воды [Опекунов и др., 2012].

2.4. ПОЧВЫ И РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

Почвы выполняют многообразные экологические функции, обуславливающие устойчивость как отдельных биогеоценозов, так и биосферы в целом. Одной из важных и комплексных функций почв является регулирование поведения загрязнителей.

В районе выделяют иллювиально-железисто-гумусовые подзолы, а также аллювиальные кислые и торфяные верховые почвы.

Данные подзолы формируются на песчаных глубокооттаивающих отложениях под сосновыми и сосново-лиственничными лесами в условиях глубокого залегания грунтовых вод [Хренов, 2002]. Эти почвы малогумусны, т. к. в составе преобладают фульвокислоты, имеют четко выраженные горизонты. Под рыхлой слаборазложившейся оторфованной подстилкой А₀ (1-4 см) выделяется белесовато-пепельный, рыхлый, подзолистый элювиальный горизонт мощностью от 20 до 30 см. Резко сменяется на горизонт Bhf, совмещающий в себе признаки обеих модификаций альфегумусового горизонта, а именно иллювиально-гумусовый и иллювиально-железистый. Иллювиально-железисто-гумусовый горизонт охристо-бурого цвета со слабо выраженной структурой, мощностью 30-50 см. Переход в почвообразующую породу постепенный. Кислотность высокая (рН_{сол.} – 3,0-4,7) [Каретин, 1990].

Аллювиальные кислые и слабокислые почвы формируются на возвышенных элементах рельефа поймы, при глубоком залегании грунтовых вод и преимущественно на аллювии легкого механического состава, часто слоистом. Расположены, главным образом, в прирусловой части поймы и по гривам центральной поймы. Среди этих почв встречаются подтипы: аллювиальные слоистые примитивные – это наиболее молодые почвы, гумусонакопление слабое и прерывистое, содержание гумуса не более 1-2%, мощность горизонта А1 не превышает 3-5 см, а чаще он совсем отсутствует, собственно аллювиальные дерновые – развиваются на аллювии различного мех состава. В профиле горизонт А0 до 1 см, горизонт Ad – 3-4 см темно – серый, переплетен корнями; горизонт А1 – 10-30 см серый с бурым оттенком и редкими охристыми пятнами, корней меньше, иногда присутствует галька, гумуса 2-4%. По реакции почвы слабокислые и кислые, под лесами – кислые [Каретин, 1990].

Торфяные болотные верховые почвы формируются на водораздельных пространствах в условиях застойного увлажнения под влиянием пресных вод атмосферных осадков без влияния подземных вод. Под торфяно-подстилочным горизонтом О_v, представленным неразложившимися остатками мхов с примесью отмерших трав и корней, буровато-желтого или зеленовато-бурого цвета, мощностью 10-15 см, залегает олиготрофно-торфяной горизонт, окрашенный в темно-бурый цвет. Степень разложения торфа возрастает по мере продвижения с верхней части горизонта к нижней. Мощность торфяного горизонта Т торфяно-глеевых почв варьируется от 25 до 50 см. Он сменяется глеевым минеральным горизонтом G сизовато-серого цвета или голубовато-сизого цвета. В торфяных верховых почвах мощность олиготрофно-торфяного горизонта Т₀, сменяющегося органогенной породой ТТ, достигает 50 см. Почвы олиготрофных болот кислые ($pH_{\text{сол}} - 2,5-3,8$), насыщенные основаниями на 10%. Торф обладает низкой зольностью (2,4-6,0% на сухое вещество), незначительной плотностью твердой фазы ($0,03-0,10 \text{ г/см}^3$) и высокой влагоемкостью (700-1500% влаги на сухое вещество) [Каретин, 1990].

Любые почвы обладают способностью к самоочищению, зависящую от природных факторов и характеристик среды. Сумма температур, превышающих 10°C в почвах в год, влияет на интенсивность разложения углеводов, т. к. повышение температуры верхнего слоя почвы приводит к испарению 20-40 % легких фракций и до 20 % суммарного количества нефти [Геннадиев, Пиковский, 2007]. Согласно таблице 1 почвы территории исследований обладают малой способностью к самоочищению за счет физико-химического разложения ввиду годовой суммы температур больше 10°C в почвах ниже 1500°C. Оставшиеся углеводороды разлагаются в результате деятельности аборигенных углеводородокисляющих микроорганизмов. Интенсивность биодegradации зависит от их активности, которая определяется оптимальной влажностью и термическим режимом почвы, а также продолжительностью вегетационного периода [Геннадиев, Пиковский, 2007]. Согласно приказу федерального агентства лесного хозяйства [Приказ..., 2011] на территории Ямало-Ненецкого автономного округа продолжительность вегетационного периода составляет 4 месяца. Это значит, что почвы территории обладают малой способностью к биодegradации (таблица 1).

В дальнейшем неразложившиеся углеводороды вымываются из почв дождевыми и талыми водами, и в итоге попадают в поверхностные и подземные воды. В первые месяцы после загрязнения из почв вымывается до 70 % поступившей нефти [Глазовская, Пиковский, 1980].

Особое значение для анализа условий миграции и аккумуляции веществ, особенно загрязнителей, имеют геохимические барьеры, т. е. участки, где на коротком расстоянии резко меняются условия миграции, то приводит к концентрации элементов или их соединений.

Геохимические барьеры можно разделить на высоко, умеренно и малоемкие. Ориентировочно емкость радиальных барьеров определяется по мощности горизонтов, составу и содержанию органических веществ. Высокоемкие барьеры задерживают большие количества мигрантов либо сорбируют вещества с большими молекулярными массами [Глазовская, 1997].

Наибольшей сорбционной емкостью обладают торфяные и темногумусовые горизонты, глинистые и тяжелосуглинистые почвы. Сорбционная емкость минимальна у песчаных и мелкоземистощебнистых почв.

Таблица 1

Показатели для разделения почв по интенсивности биологического и физико-химического разложения углеводов на карте устойчивости почв России [Геннадиев, Пиковский, 2007]

Относительная роль факторов самоочищения почв для территории России	Факторы, способствующие физико-химическому разложению углеводов в почвах		Факторы, способствующие биодegradации углеводов в почвах		
	Окислительно-восстановительный режим почв (окисление)	Годовая сумма температур больше +10 С в почвах	Продолжительность вегетационного периода, мес.	Показатель увлажнения почв	Тепловой режим почв
Малая	Восстановительный	<1500	<4	<1	Холодные и очень холодные почвы
Средняя	Окислительно-восстановительный	1500-2000	4-5	1-1,33	Умеренно-холодные почвы длительно-промерзающие
Большая	Окислительный	>2500	>5	>1,33	Умеренно-холодные и умеренно-теплые почвы промерзающие и кратковременно-промерзающие

Таким образом, лучше всего миграции загрязнителей препятствуют органогенные и гумусовые горизонты, задерживающие в себе большую часть поллютантов. Торфяники в сочетании с экранирующими барьерами, представленными на территории исследования мерзлыми породами, ограничивают вертикальную миграцию и не позволяют углеводородам попасть в подземные воды. На территории исследований согласно мелкомасштабной карте геокриологических зон Западной Сибири распространение многолетнемерзлых пород преимущественно островное и редкоостровное [Трофимов и др., 1987], что в совокупности с мощным органогенным горизонтом болотных почв приводит к большой способности аккумуляции углеводородов (таблица 2), но в связи с высокой антропогенной нагрузкой в почву поступает огромное количество поллютантов, часть которых уже не может удерживаться и попадает прямо в поверхностные и подземные воды.

В почвах легкого механического состава (подзолах) загрязняющие вещества не задерживаются и легко вымываются через весь профиль, упираясь в горизонт вечной мерзлоты, выполняющий роль водоупора. Тем не менее в быстро и глубоко протаивающих легких почвах влага, накопившая в себе углеводороды, в теплый период сбрасывается в гидросеть за счет латерального надмерзлотного стока [Национальный..., 2011], усиливающегося промывным и водозастойным водным режимом почв, способствующим высокому показателю рассеивания загрязнителей (таблица 2). Также очень важно учитывать состав загрязнителя и его первоначальную концентрацию. Нельзя основываясь только на природных факторах делать выводы об устойчивости почвы к загрязнению, т. к. данный потенциал будет иметь место только если загрязнение не перейдет допустимый порог для данной почвы [Геннадиев, Пиковский, 2007].

Также почвенный покров участвует в формировании речного стока, влияя на соотношение поверхностного и подземного питания рек. Часть атмосферных осадков в виде поверхностного стока поступает в реки с водоразделов, а часть попадает в виде грунтового стока. И именно почва регулирует каким образом та или иная часть осадков попадет в гидрологический объект.

Показатели для территориального разделения почв по способности аккумулировать и рассеивать углеводороды [Геннадиев, Пиковский, 2007]

Относительная роль факторов самоочищения почв для территории России	Факторы, способствующие удержанию углеводородов на сорбционных и экранирующих барьерах			Факторы, способствующие рассеянию углеводородов	
	Сорбционный барьер		Экранирующий барьер	Водный режим почв	Годовое количество осадков, мм.
	Органогенный горизонт, см	Гумусовый горизонт, см	Постоянный мерзлый слой до глубины 100 см		
Малая	<10	<10	Отсутствует	Непромывной	<300
Средняя	10-40	10-40	Островной	Периодически-непромывной и пульсационный	300-500
Большая	>40	>40	Сплошной	Промывной и водозастойный	>500

Структура стока зависит от механического состава почвы, чем тяжелее, тем выше значения поверхностного стока. На территории района преобладают почвы тяжелого механического состава, следовательно, поверхностный сток значительный. Также на характер стока влияет глубина промерзания почвенного покрова, определяющая водопроницаемость грунтов. В связи с климатическими и геологическими условиями исследуемого района почвы промерзают на глубину до двух метров, а протаивают лишь на один метр. Это приводит к закупорке пор и трещин значительной части почвенного горизонта, кристаллами

льда и, соответственно, снижению фильтрующей способности, способствующей латеральной миграции загрязнителей поверхностным стоком.

Что касается растительности то, на территории исследования присутствуют сосновые зеленомошно-кустарничковые леса. Состав древостоя представлен сосной, но кроме нее встречаются кедр, ель и береза. Подлесок слабо развит, состоит из ерника, шиповника, можжевельника. Распространены следующие кустарнички: багульник, водяника, брусника, голубика, черника. Моховой покров представлен плевроциумом, гилокомиумом блестящим, птилиумом гребенчатым, а также дикранумом многоножковым. Травянистый покров образуют осока шаровидная, вейник лапландский, марьянник, майник и различные плауны [Ильина и др., 1985].

Также встречаются кустарничково-мохово-лишайниковые на буграх, осоково-пушицево-сфагновые в мочажинах крупнобугристые болота в сочетании с плоскобугристыми и грядово-мочажинными болотами с соответствующей растительностью [Гвоздецкий, 1973]. Наиболее обильно произрастают следующие кустарнички: багульник болотный, багульник стелющийся, хамедафна, голубика, брусника, клюква. Из травянистых растений встречаются морошка и росянка круглолистная. Сообщество лишайников образуют кладония, цетрария, алектория и другие. В топких участках болот присутствует осока и пушица, сфагновые и гипновые мхи. В озерах произрастают рдест, ежеголовник, пузырьчатка и хвостник [Ильина и др., 1985].

На юго-западе на северных склонах Сибирских Увалов – сосновые с кедром и лиственницей кустарничково-сфагновые леса с участием сфагновых верховых болот. Древесный ярус представлен неравномерно развитой обыкновенной сосной. Подлесок отсутствует. Кустарничковый ярус состоит из багульника болотного, водяники черной и брусники. Сплошной напочвенный покров образуют лишайники семейства Кладониевых, а именно кладония звездчатая, кладония оленья, также присутствуют флавоцетрария клубучковая и цетрария исландская. Высота древостоев достигает 12-14 м, запас древесины колеблется от 20 до 60 м³/Га [Ильина и др., 1985].

В целом на территории района сосновые леса преобладают над лиственничными, т. к. сосна хорошо произрастает на песчаных почвах с близко залегающими многолетнемерзлыми грунтами. В сильно увлажненных местах встречаются березовые леса с участием обыкновенной осины.

Растительность выполняет разнообразные функции, в том числе и экологическую. Экологическая роль растительности проявляется в средообразующих функциях, которые можно подразделить на три группы по характеру процессов, которые эти функции осуществляют: защитные, стабилизирующие и формирующие [Национальный..., 2011]. Растительность района выполняет противодефляционную функцию, уменьшая скорость ветра, защищает почву от эрозии. Сосновые леса на легких почвах осуществляют стокорегулирующую функцию, уменьшая поверхностный сток и поддерживая постоянный уровень грунтовых вод.

Флора занимает чуть ли не главную роль в формировании водного баланса исследуемой территории, а также является важнейшим фактором, влияющим на распространение диффузного загрязнения. Растительный покров удерживает часть осадков, изолируя их от почвы и делая более доступными для испарения, параллельно извлекает почвенную воду и расходует ее на транспирацию, которая вносит больший вклад в расходную часть водного баланса чем непосредственное испарение с листьев. Затем взвешенные в атмосферном воздухе частицы загрязняющих веществ в большинстве случаев выносятся за пределы водосборного бассейна.

Исследуемая территория является нефтегазопромысловой, а это значит, что она подвержена эрозионным процессам, вызванным антропогенной деятельностью. Одной из экологических проблем северной тайги Западной Сибири является запесочивание первичных экосистем, сопровождающееся перестройкой их структуры вплоть до полного уничтожения [Капитонова и др., 2017]. Данный процесс связан с антропогенной деятельностью, направленной на освоение природных ресурсов и сопровождающейся разработкой песчаных карьеров, строительством разнообразных инженерных сооружений и добычей

полезных ископаемых [Сизов, 2015]. Песчаные валы перемещаются по направлению ветра и погребают коренные сообщества на месте которых формируются разреженные сообщества травянистых растений и кустарничков. С течением времени запесоченные территории зарастают при условии снижения или прекращения антропогенного воздействия. Процесс восстановления растительности может представлять как первичную (экогенетическую), так и вторичную (восстановительную) сукцессии [Капитонова и др., 2017]. На участках с полностью уничтоженным растительным покровом и почвой, например, на дне песчаных карьеров начинается первичная сукцессия. В местах раздувов песка, под которыми сохраняются почва и семена растений развивается вторичная сукцессия.

В связи с постоянным ветровым заносом растений песком выживают на нарушенных территориях либо виды с непродолжительным жизненным циклом, либо виды способные к быстрому вегетативному нарастанию или использующие особые адаптивные механизмы для расселения, например, анемохорию [Капитонова и др., 2017].

В местах распространения песков формируются моховые и водяниковые «бугры» на поверхности которых произрастают виды с пациентной эколого-фитоценотической стратегией, т. е. растения способные обитать в стрессовых, ограничивающих условиях благодаря своей выносливости: водяника черная (*Empetrum nigrum L.*), можжевельниковый мох (*Polytrichum juniperinum*) и кукушкин лён (*Polytrichum piliferum Hedw.*) Они задерживают своими корнями и стеблями переносимый песок и создают, таким образом, благоприятные условия для разрастания других видов растений [Капитонова и др., 2017].

В местах с достаточным увлажнением субстрата, зачастую на дне карьеров растительные сообщества формируются из трех – девяти видов, причем 30-50% видового состава сообществ относятся к числу диагностических видов класса *Loiseleurio – Vaccinetea* который объединяет сообщества кустарничков с арктическими и гипоарктическими ареалами [Лавриненко, Лавриненко, 2020]. К характерным (диагностическим) видам класса, произрастающим в увлажненных

местах, относятся: берёза карликовая (*Betula exilis*), брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.), голубика (*Vaccinium uliginosum* L.) [Капитонова и др., 2017]. Помимо перечисленных кустарничков произрастают виды и других классов:

Oxycocco – *Sphagnetea* – растительность олиготрофных верховых и переходных болот и заболоченных пустошей [Лавриненко, Лавриненко, 2017]: пушица влагалищная (*Eriophorum vaginatum* L.), росянка круглолистная (*Drosera rotundifolia* L.), багульник болотный (*Ledum palustre* L.), клюква (*Oxycoccus palustris* Pers.), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) [Капитонова и др., 2017];

Koeleria – *Corynephoretea* объединяет пионерные сообщества на слабообразованных песчаных почвах, дюнах или вскрытых песках [Булохов, Петренко, 2017]: политрихум волосоносный (*Polytrichum piliferum* Hedw.) [Капитонова и др., 2017].

На высоких элементах рельефа – сухих местообитаниях произрастают виды, приспособившиеся к недостатку воды. Доминантом в сообществе является ястребинка ложносеверолюбивая (*Hieracium pseudoarctophilum* Schljakov). Верхний ярус образуют: вейник наземный (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth), иван-чай узколистный (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.); нижний – являющаяся доминантом в сообществе ястребинка ложносеверолюбивая (*Hieracium pseudoarctophilum* Schljakov), овсяница полеская (*Festuca Polesica* Zapal), политрихум волосоносный (*Polytrichum piliferum* Hedw.), трехреберник непахучий (*Matricaria perforata* Merat) и другие виды сорных растений [Капитонова и др., 2017]. В составе сообществ также присутствуют виды семейства бобовых: клевер горный (*Trifolium montanum* L.) и горошек мышинный (*Vicia cracca* L.), которые ранее не наблюдались на нарушенных территориях в северной тайге Западной Сибири [Капитонова, 2017].

ГЛАВА 3. ОЦЕНКА ВЫНОСА НЕФТЯНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ С РЕЧНЫМ СТОКОМ НА НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЯХ ЮГА ПУРОВСКОГО РАЙОНА

В главе производится ландшафтно-гидрологический анализ водосбора рек, притоков р. Пяку-Пур. На основе космоснимков за 2022 г. были составлены карты стокоформирующих комплексов притоков р. Пяку-Пур: р. Текушеяха, р. Харучейтаркаяха, р. Ханупыяха, р. Пульпуяха и верховьев р. Харучейяха с учетом антропогенной нагрузки. Итогом главы является вычисление суммарного годового выноса нефтяных углеводородов с исследуемого водосбора и оценка вклада рассредоточенных источников загрязнения в общее загрязнение поверхностных вод юга Пуровского района.

3.1. ЛАНДШАФТНО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ВОДОСБОРА

Химический сток реки Пур формируется за счет поступления химических веществ со стоком малых рек. В настоящее время в бассейне р. Пяку-Пур насчитывается 6 месторождений. Это значит, что малые водотоки, расположенных в южной части Пуровского района, дренирующие действующие нефтяные месторождения, подвержены загрязнению НУВ (таблица 3).

С целью оценки выноса НУВ в качестве опытного водосбора были выбраны малые реки, являющиеся притоками реки Пяку-Пур, несущей свои воды в р. Пур, устьем которой является Тазовская губа (Карское море).

- р. Харучейяха (верховья, подверженные загрязнению от добычи нефти). Исследуемая часть реки имеет длину 57,32 км, площадь водосбора 438,84 км²;
- р. Текушеяха. Исследуемая река имеет длину 17 км, площадь водосбора 112,64 км²;

- р. Харучейтаркаяха. Исследуемая река имеет длину 50,02 км, площадь водосбора 261,07 км²;
- р. Ханупыяха. Исследуемая река имеет длину 57,53 км, площадь водосбора 234,22 км²;
- р. Пульпуяха. Исследуемая река имеет длину 84 км, площадь водосбора 323,80 км².

Данные реки протекают по территории Пуровского административного района ЯНАО.

В пределах водосборов располагаются следующие нефтегазовые месторождения: Муравленковское (далее – МНП), Суторминское (далее – СНП), Западно-Суторминское (далее – ЗСНП), разрабатываемые «Газпромнефть-Муравленко», являющиеся подразделениями «Газпромнефть-Ноябрьскнефтегаз» и «Газпромнефть-Муравленко». В бассейнах исследуемых водотоков на протяжении 20 лет ведется разработка Муравленковского лицензионного участка. Это сопровождается строительством объектов нефтегазодобычи, интенсивной добычей нефти, прокладкой десятков километров внутрипромысловых нефтепроводов [Якутин, Шарикалов, 2019].

На территориях месторождений в северной тайге Западной Сибири наиболее ценные и подлежащие охране хвойные леса занимают в среднем 19,8 % площади месторождения, а лиственные леса – 13,3 %. Уже на стадии освоения и подготовки к добыче на всех месторождениях площади хвойных и лиственных лесов снижаются в среднем на 0,48 %. К 10-летнему сроку эксплуатации месторождений площади, занятые хвойными лесами, уменьшаются в среднем на 0,73 %, лиственными лесами – на 0,52 % [Шарикалов, Якутин, 2012].

За все время освоения Муравленковского нефтегазового месторождения произошло уменьшение доли территории, занятой преимущественно хвойными лесами на 0,4 %, а смешанными и лиственными лесами – на 0,2 %. За этот же период площадь водных объектов на территории месторождения практически не изменилась, а доля заболоченных земель увеличилась в общем на 0,8 %, что

объясняется эффектом подтопления от отсыпных дорожных дамб, проложенных по заболоченной территории [Васильев, 1998].

Более 10 % территории лицензионного участка лишено растительности. Это связано с критическим износом оборудования и, как следствие, периодическими масштабными разливами нефти [Якутин, Шарикалов, 2019].

Таблица 3

Список рек, дренирующих разрабатываемые месторождения нефти и газового конденсата, являющихся источниками рассредоточенного загрязнения

[Хорошавин, Моисеенко, 2014]

Река – источник загрязнения	Месторождение – источник загрязнения	Река – приемник загрязненных вод
Камгаяха	Крайнее	Пякупур
Камгаяха	Карамовское	
Итуяха		
Ходыгаяха	Суторминское	
Пульпуюха		
Ханаяха	Спорышевское	
Ханупыяха	Муравленковское	
Харучейяха		
Етуяха	Барсуковское	
Вораяха		

Месторождение представляет из себя структурное подразделение предприятия, которое осуществляет добычу сырой нефти, а также газа. В инфраструктуру входят: кусты скважин (далее – КС), дожимная насосная станция (далее – ДНС), кустовые насосные станции (далее – КНС), установки предварительного сброса воды (далее – УПСВ). Все это соединяется между собой внутрипромысловыми трубопроводами (далее – ВПТ). Нефть поступает по ВПТ с КС на КНС, а затем на ДНС. Затем, насосы ДНС продавливают нефть, транспортируя ее в УПСВ для отделения от воды и попутного газа. В дальнейшем чистая нефть поступает в головную насосную станцию (далее – ГНС) и перекачивается по магистральным трубопроводам (далее – МНТ) в места переработки.

Сброс сточных вод, загрязненных НУВ, согласно официальной отчетности, в малые реки не осуществляется. Опыт многолетних исследований [Гашев, Казанцева, 1998; Калинин, 2010; Хорошавин, Моисеенко, 2014] показывает, что основным источником поступления НУВ в малые реки являются нефтезагрязненные участки водосборов, доля которых в случае староосвоенного месторождения достигает 2-10 % площади месторождения. Причина образования нефтезагрязненных земель в 90 % случаев – аварийные ситуации на внутрипромысловых нефтепроводах [Хорошавин и др., 2017].

Прогноз формирования качества речных вод Пяку-Пура возможен путем синтеза данных о выносе НУВ с замазученных водосборов его притоков, протекающих через разрабатываемые нефтяные месторождения [Хорошавин, 2010].

Для оценки выноса НУВ с неизученных в гидрологическом отношении малых водосборов целесообразно использовать модельные расчеты. Для расчета модуля смыва НУВ с различных ландшафтных комплексов используется уравнение (6), а для определения концентрации НУВ в речной воде – (8). Если же на территории СФК отсутствуют разливы нефтепродуктов используется уравнение (9), а концентрация НУВ принимается равной фоновой концентрации ($a_{\phi} = 0,04$ мг/л).

Большая площадь и протяженность с севера на юг бассейна Пяку-Пура обуславливают разнообразие природных гидрологических факторов, регулирующих процессы выноса нефти со стокоформирующих комплексов (далее – СФК). Для проведения дальнейших исследований необходимо знать в каком СФК произошел разлив нефтепродуктов, так как каждый СФК обладает определенной спецификой в формировании стока. В водораздельных – НУВ, растворившись в воде легко проникают в песчано-супесчаные почвы, обладающие низкой сорбционной способностью. В связи с этим в речную сеть интенсивно вымываются легкорастворимые НУВ. В СФК с торфяными почвами загрязняющие вещества хорошо задерживаются, но только до тех пор, пока не будет превышен порог нефтеемкости [Хорошавин, Моисеенко, 2014].

Исходя из ландшафтно-гидрологического районирования Западной Сибири (рис. 7) видно, что вся территория бассейна р. Пяку-Пур находится в Пурской (В₃) ландшафтно-гидрологической провинции (далее – ЛГП), относящейся к низинно-аккумулятивной (В) ландшафтно-гидрологической зоне (далее – ЛГЗ). [Хорошавин, 2010].

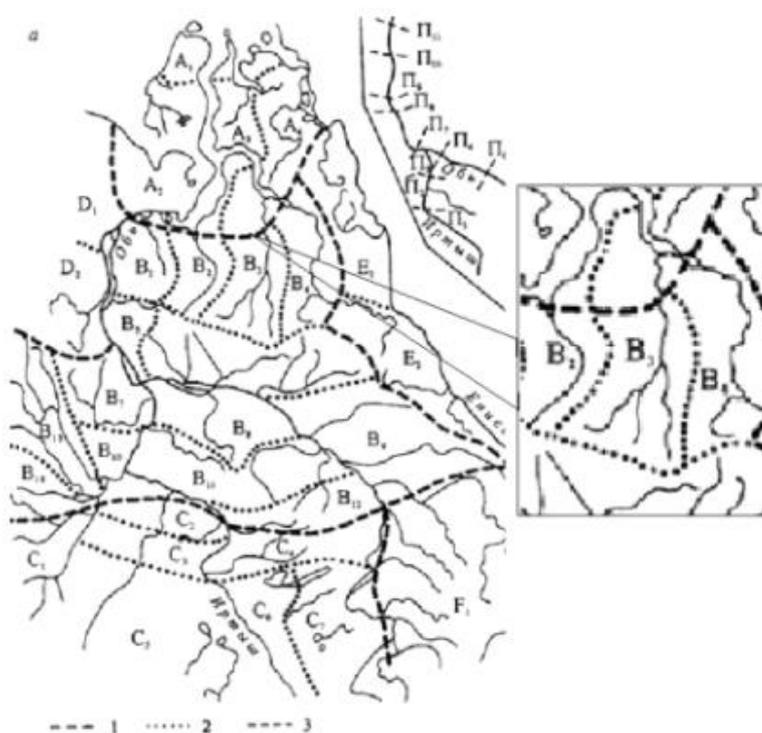


Рис.7. Ландшафтно-гидрологическое районирование Западно-Сибирской равнины [Хорошавин, 2010].

Условные обозначения: 1-3 – границы: 1 – ландшафтно-гидрологических зон, 2-3 – ландшафтно-гидрологических (2) и пойменных (3) провинций; индексы: ВЗ – ландшафтно-гидрологических провинций, П4 – пойменных провинций.

На основании анализа природных условий формирования стока в ЛГП было решено, что для водосборов, относящихся к Пурской и Тазовской ЛГП применима модель (8), т. к. она разработана для таежных бассейнов [Хорошавин, 2014].

Для проведения расчетов, помимо того, в каком СФК располагается разлив НУВ необходимо вычислить неизвестные параметры:

M – обобщенный по территории модуль стока воды, л/с км². Он вычисляется по формуле – $M = (Q_{\text{ср.год}} * 10^3) / F$, где F – площадь речного бассейна (км²), а коэффициент 10^3 в числителе – перевод м³ в литры [Вешкурцева, Пинигина, 2014].

Можно сделать вывод о том, что модуль стока воды зависит от площади водосбора. Таким образом, при условии одинакового расхода воды модуль стока рек с меньшей площадью речного бассейна будет выше;

F – площадь водосбора, км² определяется после проведения водораздельной линии по наивысшим орографическим точкам, указанным на топографической карте. Для вычисления площади используются географические информационные системы (далее – ГИС), такие как MapInfo, ArcGIS и др.

Значения остальных параметров указаны в главе 1.

На основе космоснимков территории исследования за 2022 г. были составлены карты стокоформирующих комплексов рек – притоков р. Пяку-Пур (приложение 1-б), основанные на классификации антропогенных ландшафтов нефтегазопромысловых районов Тюменской области [Козин, 2007].

Это необходимо для того, чтобы знать в каком СФК произошел разлив нефтепродуктов, так как каждый СФК обладает определенной спецификой в формировании стока. В водораздельных – НУВ, растворившись в воде легко проникают в песчано-супесчаные почвы, обладающие низкой сорбционной

способностью. В связи с этим в речную сеть интенсивно вымываются легкорастворимые НУВ. В СФК с торфяными почвами загрязняющие вещества хорошо задерживаются, но только до тех пор, пока не будет превышен порог нефтеемкости [Хорошавин, Моисеенко, 2014].

В связи с отсутствием нефтяных разливов на всей территории водосборных бассейнов исследуемых рек, а их локализацией в освоенных частях водосборов ввиду расположенных там антропогенных объектов было принято решение выделения СФК на уровне типов местности, различающихся ландшафтными особенностями, от которых зависит поверхностный смыв нефтеуглеводородов.

Характеристики СФК представлены в таблице 4.

Характеристики стокоформирующих комплексов

№ СФ К	Тип местности	Тип/подтип почв	Гранулометрический состав почвы	Харучейяха		Текушеяха		Харучейтаркая ха		Ханупыяха		Пульпуяха	
				Площадь (F), км ²	% от F	Площадь (F), км ²	% от F	Площадь (F), км ²	% от F	Площадь (F), км ²	% от F	Площадь (F), км ²	% от F
1	Мелкодолинный	Аллювиальные кислые	Глинистая	24,26	5,55	4,59	4,08	11,74	4,50	18,65	7,96	20,71	6,40
2	Придолинно-болотный	Торфяные болотные верховые по грядам и торфяные низинные по западинам	Торф	2,18	0,50	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Заторфованных долинообразных понижений	Торфяные болотные верховые	Торф	0,40	0,09	-	-	1,66	0,64	0,85	0,36	1,02	0,31
4	Приозерный болотный	Торфяные болотные	Торф	13,78	3,15	-	-	0,57	0,22	-	-	0,26	0,08
5	Болотный грядово-озерковый	Торфяные болотные верховые по грядам и торфяные низинные по озерным и постозерным понижениям	Торф	20,15	4,61	-	-	-	-	-	-	-	-
6	Волнисто-увалистый среднетаежный	Подзолистые	Песчаная	74,13	16,95	49,08	43,57	126,35	48,40	77,46	33,07	95,51	29,50

7	Верховых бугристых болот	Торфяные болотные верховые	Торф	247,16	56,51	37,29	33,10	103,50	39,65	108,43	46,29	160,40	49,54
8	Плоских низинных болот	Торфяные болотные низинные	Торфяник	2,64	0,60	-	-	-	-	-	-	-	-
9	Эксплуатационный	Нарушенные	Песчаная	4,86	1,11	6,99	6,21	2,22	0,85	5,50	2,35	5,66	1,75
10	Дорожный	Нарушенные	Песчаная	3,44	0,79	2,00	1,78	1,54	0,59	2,03	0,86	1,89	0,58
11	Полимагистральный	Нарушенные	Песчаная	4,76	1,09	8,70	7,72	6,07	2,33	6,08	2,60	8,96	2,77
12	Поисково-разведочный	Нарушенные	Песчаная	0,06	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-
13	Массивно-вырубочный	Нарушенные	Песчаная	0,83	0,19	1,54	1,37	1,33	0,51	0,33	0,14	0,18	0,06
14	Монокотлованный	Нарушенные	Песчаная	1,64	0,37	0,63	0,56	0,63	0,24	2,31	0,99	1,39	0,43
15	Селитебный	Нарушенные	Песчаная	-	-	-	-	0,25	0,1	-	-	4,57	1,41

- в бассейне р. Текушеяхи преобладают пологоволнистые поверхности водораздельных равнин, занимающие 49,08% территории. Верховые бугристые болота занимают 33,10%, мелкодолинные участки – 4,08 %, техногенно нарушенные поверхности – 17,63%. Остальную часть водосбора занимают водоемы (1,62%);

- в верховьях р. Харучейяхи преобладают верховые бугристые болота, занимающие 56,51 % территории. Пологоволнистые дренированные поверхности водораздельных равнин занимают 16,95 %, мелкодолинные участки – 5,55 %, слабодренированные грядово-озерковые поверхности водораздельных равнин – 4,61 %, техногенно нарушенные поверхности – 3,60 %, плоско-наклонные недренированные приозерные поверхности - 3,18 %, низинные болота – 0,61 %, грядово-западинные придолинные участки верховых болот – 0,5 %, бугристокочковатые недренированные поверхности заторфованных долинообразных понижений – 0,09%. Остальную часть водосбора занимают водоемы;

- в бассейне р. Харуйчейтаркаяхи преобладают водораздельные поверхности, занимающие 48,40 % территории. Верховые бугристые болота занимают 39,65 %, мелкодолинные участки – 4,49 %, техногенно нарушенные поверхности – 4,37 %, заторфованные долинообразные понижения – 0,64 %, приозерно-болотные поверхности – 0,22 %. Остальную часть водосбора занимают водоемы (2 %);

- в бассейне р. Ханупыяхи преобладают верховые бугристые болота, занимающие 46,29 % территории. Пологоволнистые дренированные поверхности водораздельных равнин занимают 33,07 %, мелкодолинные участки – 7,96 %, техногенно нарушенные поверхности – 6,94 %, заторфованные долинообразные понижения – 0,36 %. Остальную часть водосбора занимают водоемы (3,28 %);

- в бассейне р. Пульпуюхи преобладают верховые бугристые болота, занимающие 49,54 % территории. Пологоволнистые дренированные поверхности водораздельных равнин занимают 29,50 %, мелкодолинные участки

– 6,40 %, техногенно нарушенные поверхности – 7 %, заторфованные долинообразные понижения – 0,31 %. Остальную часть водосбора занимают водоемы (7,18 %).

С гидрологической точки зрения водосборные территории Харучейяхи, Ханупыяхи и Пульпуюха, ввиду преобладания торфяных почв, хорошо запасают влагу и равномерно распределяют ее по всему водосбору, а водосборы Текушеяхи и Харучейтаркаяхи из-за преобладания подзолистых почв, плохо запасают влагу и неравномерно распределяют ее по всему водосбору.

В целом, часть бассейна реки Пяку-Пур, состоящая из водосборных территорий левых притоков, дренирующих действующие нефтегазовые месторождения характеризуется преобладанием верховых бугристых болот (48,31 %).

3.2. РАЗЛИВЫ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ВОДОСБОРЕ

Территория исследования подвержена интенсивной антропогенной нагрузке, а именно добыче нефти и газа. В бассейнах исследуемых рек отсутствуют промышленные предприятия, осуществляющие сброс сточных вод. Это значит, что загрязняющие вещества попадают в природную среду от рассредоточенных источников загрязнения в результате аварий на ВПТ и МНТ.

Центром индустриального инжиниринга и геоинформатики (ЦИИГ) ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет» были предоставлены акты и протоколы за 2018 г., в которых содержалась необходимая для исследовательской работы информация, а именно площадь земель, загрязненных нефтепродуктами. Все места разливов нефтепродуктов были нанесены на карту СФК (приложение 1 – 6). Согласно полученным данным на территории водосбора:

- р. Харучейяха было зафиксировано 16 участков, подверженных нефтезагрязнению. Разливы расположены в 5 СФК: 8 в пределах верховых

бугристых болот, 3 – в мелкодолинном 2 – в приозерно-болотном, 2 – в нефтеэксплуатационном, 1 – в монокотлованном;

- р. Текушеяха – 22 нефтезагрязненных участка. Разливы расположены в 5 СФК: 13 в пределах поверхностей водораздельных равнин, 2 – в нефтеэксплуатационном, 3 – в полимагистральном, 3 – в верховых бугристых болотах, 1 – в массивно вырубочном;

- р. Харучейтаркаяха – 10 участков, загрязненных нефтяными углеводородами. Разливы расположены в 6 СФК: 3 в пределах поверхностей водораздельных равнин, 3 – в верховых бугристых болотах, 1 – в мелкодолинном, 1 – в дорожном, 1 – в нефтеэксплуатационном, 1 – в полимагистральном;

- р. Ханупыяха – 17 участков, подверженных нефтезагрязнению. Разливы расположены в 4 СФК: 10 в пределах поверхностей водораздельных равнин, 5 – в верховых бугристых болотах, 1 – в нефтеэксплуатационном, 1 – в полимагистральном.

- р. Пульпуюха – 21 нефтезагрязненный участок. Разливы расположены в 4 СФК: 13 в пределах верховых бугристых болот, 6 – в пределах водораздельных равнин, 1 – в нефтеэксплуатационном, 1 – в полимагистральном.

Таким образом, на территории исследования выявлено 86 участков, подверженных нефтезагрязнению. Наибольшее количество загрязненных участков располагается в водораздельных поверхностях (37 %) и верховых бугристых болотах (37 %).

Данные о количестве разливов и их площади представлены в таблице 5.

Таблица 5

Разливы нефтепродуктов в стокоформирующих комплексах водосбора исследуемых рек за 2018 г.

№	СФК	Харучейяха			Текушеяха			Харучейтаркаяха			Ханупыяха			Пульпуяха		
		Кол-во	Фз, км ²	%	Кол-во	Фз, км ²	%	Кол-во	Фз, км ²	%	Кол-во	Фз, км ²	%	Кол-во	Фз, км ²	%
1	Мелкодолинный	3	0,02058	23,53	0	-	-	1	0,00545	22,97	0	-	-	0	-	-
2	Придолинно-болотный	0	-	-	0	-	-	0	-	-	0	-	-	0	-	-
3	Заторфованных долинообразных понижений	0	-	-	0	-	-	0	-	-	0	-	-	0	-	-
4	Приозерный болотный	2	0,00436	4,99	0	-	-	0	-	-	0	-	-	0	-	-
5	Болотный грядово-озерковый	0	-	-	0	-	-	0	-	-	0	-	-	0	-	-
6	Волнисто-увалистый среднетаежный	0	-	-	13	0,10075	50,44	3	0,00681	28,69	10	0,03122	62,29	6	0,03121	16,60
7	Верховых бугристых болот	8	0,04958	56,70	3	0,03817	19,11	3	0,00516	21,77	5	0,00882	17,60	13	0,15567	82,79
8	Плоских низинных болот	0	-	-	0	-	-	0	-	-	0	-	-	0	-	-
9	Эксплуатационный	2	0,00819	9,37	2	0,00505	2,53	1	0,00011	0,47	1	0,00111	2,22	1	0,00085	0,45
10	Дорожный	0	-	-	0	-	-	1	0,00311	13,12	0	-	-	0	-	-
11	Полимагистральный	0	-	-	3	0,05105	25,56	1	0,00308	12,98	1	0,00896	17,60	1	0,00030	0,16
12	Поисково-разведочный	0	-	-	0	-	-	0	-	-	0	-	-			
13	Массивно-вырубочный	0	-	-	1	0,00473	2,37	0	-	-	0	-	-	0	-	-
14	Монокотлованный	1	0,00473	5,41	0	-	-	0	-	-	0	-	-	0	-	-
15	Селитебный	0	-	-	0	-	-	0	-	-	0	-	-	0	-	-

Суммарная площадь нефтяного загрязнения:

- в верховьях р. Харучейяха занимает $0,09 \text{ км}^2$, что составляет $0,02 \%$ от площади ее водосбора. Самое большое количество разливов с самой большой суммарной площадью зафиксировано в верховых болотах. Здесь нефтезагрязненные участки занимают $0,04958 \text{ км}^2$, что составляет $56,70 \%$ от общей площади разливов;

- в бассейне р. Текушеяха – $0,20 \text{ км}^2$, что составляет $0,25 \%$ от водосборной площади. Самое большое количество разливов с самой большой суммарной площадью зафиксировано в поверхностях водораздельных равнин. Здесь нефтезагрязненные участки занимают $0,10075 \text{ км}^2$, что составляет $50,44 \%$ от общей площади разливов;

- в бассейне р. Харучейтаркаяха – $0,02 \text{ км}^2$, что составляет $0,09 \%$ от водосборной площади. Самое большое количество разливов с самой большой суммарной площадью зафиксировано в поверхностях водораздельных равнин. Здесь нефтезагрязненные участки занимают $0,00681 \text{ км}^2$, что составляет $28,69 \%$ от общей площади разливов;

- в бассейне р. Ханупыяха – $0,05 \text{ км}^2$, что составляет $0,02 \%$ от водосборной площади. Самое большое количество разливов с самой большой суммарной площадью зафиксировано в поверхностях водораздельных равнин. Здесь нефтезагрязненные участки занимают $0,03122 \text{ км}^2$, что составляет $62,29 \%$ от общей площади разливов;

- в бассейне р. Пульпуюха – $0,19 \text{ км}^2$, что составляет $0,05 \%$ от водосборной площади. Самое большое количество разливов с самой большой суммарной площадью зафиксировано в верховых болотах. Здесь нефтезагрязненные участки занимают $0,15567 \text{ км}^2$, что составляет $82,79 \%$ от общей площади разливов.

Таким образом, в исследуемой части бассейна р. Пяку-Пур наиболее загрязнены верховые бугристые болота ($0,25742 \text{ км}^2$, что составляет $46,88 \%$ от общей площади разливов).

Казалось бы, большая часть поллютантов будет задерживаться в органогенных горизонтах, т. к. торфяники в сочетании с экранирующими барьерами, представленными на территории исследования мерзлыми породами, ограничивают вертикальную миграцию и не позволяют углеводородам попасть в подземные воды. Но в связи с высокой антропогенной нагрузкой в почву поступает огромное количество поллютантов, часть которых уже не может удерживаться и попадает прямо в поверхностные и подземные воды.

Вторая по площади (30,96 %) часть загрязнителей располагается в водораздельных поверхностях, следовательно, в почвах легкого механического состава (подзолах) загрязняющие вещества будут легко вымываться через весь профиль, упираясь в горизонт вечной мерзлоты, выполняющий роль водоупора. Тем не менее в быстро и глубоко протаивающих легких почвах влага, накопившая в себе углеводороды, в теплый период сбрасывается в гидросеть за счет латерального надмерзлотного стока, усиливающегося промывным и водозастойным водным режимом почв, способствующим высокому показателю рассеивания загрязнителей.

3.3. РАСЧЕТ СУММАРНОГО ГОДОВОГО ВЫНОСА НЕФТЯНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ С ВОДОСБОРНОЙ ТЕРРИТОРИИ ВЕРХОВЬЕВ Р. ХАРУЧЕЙЯХА

Для расчета модуля смыва НУВ с различных ландшафтных комплексов используется уравнение (6), а для определения концентрации НУВ в речной воде – (8). Если же на территории СФК отсутствуют разливы нефтепродуктов используется уравнение (9), а концентрация НУВ принимается равной фоновой концентрации ($a_{\phi} = 0,04$ мг/л).

Для каждого СФК были проведены расчеты, представленные в таблице 6.

Проанализировав полученные значения, можно сделать вывод о том, что наибольший модуль смыва НУВ с водосборной поверхности:

- р. Харучейяха наблюдается с поисково-разведочного типа местности, но на нем отсутствуют нефтезагрязненные земли, поэтому с данного СФК выносятся фоновая концентрация НУВ. В остальных СФК значения модуля смыва примерно одинаковые и колеблются в пределах единицы от 0,004 до 0,442 мг/с*км². Тем не менее с верховых бугристых болот выносятся наибольшая концентрация НУВ (0,13 мг/л) ввиду большой площади земель, загрязненных нефтепродуктами. На остальной водосборной территории концентрация НУВ, выносимая в водотоки поверхностным стоком, несмотря на наличие нефтезагрязненных земель в других СФК примерно одинаковая (от 0,04 до 0,077 мг/л).

- р. Текушеяха – с монокотлованного типа местности, но на нем отсутствуют нефтезагрязненные земли, поэтому с данного СФК выносятся фоновая концентрация НУВ. В остальных СФК значения модуля смыва примерно одинаковые и колеблются в пределах от 0,027 до 0,583 мг/с* км². С пологоволнистых поверхностей водораздельных равнин выносятся наибольшая концентрация НУВ (0,217 мг/л) ввиду большой площади земель, загрязненных нефтепродуктами. На остальной водосборной территории концентрация НУВ, выносимая в водотоки поверхностным стоком, несмотря на наличие нефтезагрязненных земель в других СФК примерно одинаковая (от 0,04 до 0,123 мг/л).

- р. Харучейтаркаяха – с монокотлованного типа местности, но на нем отсутствуют нефтезагрязненные земли, поэтому с данного СФК выносятся фоновая концентрация НУВ. В остальных СФК значения модуля смыва примерно одинаковые и колеблются в пределах единицы от 0,038 до 0,583 мг/с*км². С пологоволнистых поверхностей водораздельных равнин выносятся наибольшая концентрация НУВ (0,052 мг/л) ввиду большой площади земель, загрязненных нефтепродуктами. На остальной водосборной территории концентрация НУВ, выносимая в водотоки поверхностным стоком, несмотря на наличие нефтезагрязненных земель в других СФК примерно одинаковая (от 0,04 до 0,049 мг/л).

- р. Ханупыяха – с массивно-вырубочного типа местности, но на нем отсутствуют нефтезагрязненные земли, поэтому с данного СФК выносятся фоновая концентрация НУВ. В остальных СФК значения модуля смыва примерно одинаковые и колеблются в пределах единицы от 0,005 до 1,121 мг/с* км². С пологоволнистых поверхностей водораздельных равнин выносятся наибольшая концентрация НУВ (0,097 мг/л) ввиду большой площади земель, загрязненных нефтепродуктами. На остальной водосборной территории концентрация НУВ, выносимая в водотоки поверхностным стоком, несмотря на наличие нефтезагрязненных земель в других СФК примерно одинаковая (от 0,04 до 0,056 мг/л).

- р. Пульпуюха – с массивно-вырубочного типа местности, но на нем отсутствуют нефтезагрязненные земли, поэтому с данного СФК выносятся фоновая концентрация НУВ. В остальных СФК значения модуля смыва примерно одинаковые и колеблются от 0,006 до 2,019 мг/с*км². С пологоволнистых поверхностей водораздельных равнин выносятся наибольшая концентрация НУВ (0,097 мг/л) ввиду большой площади земель, загрязненных нефтепродуктами. На остальной водосборной территории концентрация НУВ, выносимая в водотоки поверхностным стоком, несмотря на наличие нефтезагрязненных земель в других СФК примерно одинаковая (от 0,04 до 0,097 мг/л).

Таким образом, в исследуемой части водосбора р. Пяку-Пур наибольшая концентрация НУВ выносятся с водораздельных волнисто-увалистых СФК (0,722 мг/л). Это связано с большой площадью нефтезагрязненных земель и легким механическим составом почв, плохо задерживающим загрязняющие вещества.

Концентрация НУВ, попадающих в речную воду с поверхностным стоком, превышает ПДК для водных объектов рыбохозяйственного значения [Приказ..., 2016] в следующих СФК: мелкодолинном, приозерно-болотном, эксплуатационном, монокотлованным и верховых бугристых болот для р. Харучейяха; в волнисто-увалистом северотаежном, верховых бугристых

болот, эксплуатационном и полимагистральном для р. Текушеяха; в волнисто-увалистом северотаежном, верховых бугристых болот, мелкодолинном, дорожном и полимагистральном для р. Харучейтаркаяха; в волнисто-увалистом северотаежном, верховых бугристых болот, эксплуатационном и полимагистральном для р. Ханупыяха; в волнисто-увалистом северотаежном, верховых бугристых болот, полимагистральном и эксплуатационном для р. Пульпуяха.

Следовательно, на исследуемой части бассейна р. Пяку-Пур ПДК превышено в 10 СФК (от наибольшего превышения к наименьшему): водораздельном волнисто-увалистом, верховых болот, полимагистральном, мелкодолинном, эксплуатационном, монокотлованном, массивно-вырубочном, дорожном, заторфованных долинообразных понижений, приозерно-болотном. Это связано с большим количеством разливов НУВ по всей поверхности водораздела.

Таблица 6

Концентрация нефтеуглеводородов и модуль их смыва со стокоформирующих комплексов водосборов рек –
притоков реки Пяку-Пур

№	СФК	Харучейяха				Текушеяха				Харучейтаркаяха			
		М, л/с*км ²	f _з , км ²	μ, мг/с*км ²	ρ, мг/л	М, л/с*км ²	f _з , км ²	μ, мг/с*км ²	ρ, мг/л	М, л/с*км ²	f _з , км ²	μ, мг/с*км ²	ρ, мг/л
1	Мелкодолинный	0,38	0,02058	0,029	0,077	2,00	-	0,080	0,040	0,78	0,00545	0,0391	0,050
2	Придолинно-болотный	4,21	-	0,168	0,040	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Заторфованных долинообразных понижений	22,95	-	0,918	0,040	-	-	-	-	5,53	-	0,2212	0,040
4	Приозерный болотный	0,67	0,00436	0,032	0,048	-	-	-	-	16,11	-	0,6442	0,040
5	Болотный грядово-озерковый	0,46	-	0,018	0,040	-	-	-	-	-	-	-	-
6	Волнисто-увалистый среднетаежный	0,12	-	0,005	0,040	0,19	0,10075	0,041	0,217	0,07	0,00681	0,0038	0,052
7	Верховых бугристых болот	0,04	0,04958	0,005	0,130	0,25	0,03817	0,027	0,108	0,09	0,00516	0,0044	0,049
8	Плоских низинных болот	3,48	-	0,139	0,040	-	-	-	-	-	-	-	-
9	Эксплуатационный	1,89	0,00819	0,103	0,054	1,31	0,00505	0,064	0,049	4,14	0,00011	0,1662	0,040
10	Дорожный	2,67	-	0,107	0,040	4,59	-	0,184	0,040	5,96	0,00311	0,2706	0,045
11	Полимагистральный	1,93	-	0,077	0,040	1,06	0,05105	0,130	0,123	1,51	0,00308	0,0689	0,046
12	Поисково-разведочный	153,00	-	6,120	0,040	-	-	-	-	-	-	-	-
13	Массивно-вырубочный	11,06	-	0,442	0,040	5,96	0,00473	0,286	0,048	6,90	-	0,2761	0,040
14	Монокотлованный	5,60	0,00473	0,269	0,048	14,57	-	0,583	0,040	14,57	-	0,5829	0,040
15	Селитебный	-	-	-	-	-	-	-	-	36,72	-	1,4688	0,040

Продолжение таблицы 6

СФК	Хануပ္уяха				Пульпуяха			
	М, л/с*км ²	f ₃ , км ²	μ, мг/с*км ²	ρ, мг/л	М, л/с*км ²	f ₃ , км ²	μ, мг/с*км ²	ρ, мг/л
Мелкодолинный	0,49	-	0,020	0,040	0,44	-	0,018	0,040
Придолинно-болотный	-	-	-	-	-	-	-	0,040
Заторфованных долинообразных понижений	10,81	-	0,433	0,040	9,00	-	0,360	0,040
Приозерный болотный	-	-	-	-	35,51	-	1,420	0,040
Болотный грядово-озерковый	-	-	-	-	-	-	-	0,040
Волнисто-увалистый среднетаежный	0,12	0,03122	0,011	0,097	0,10	0,15567	0,030	0,316
Верховых бугристых болот	0,08	0,00882	0,005	0,056	0,06	0,03121	0,006	0,097
Плоских низинных болот	-	-	-	-	-	-	-	0,040
Эксплуатационный	1,67	0,00111	0,070	0,042	1,62	0,00085	0,067	0,042
Дорожный	4,53	-	0,181	0,040	4,58	-	0,194	0,040
Полимагистральный	1,51	0,00896	0,084	0,056	1,02	0,00030	0,042	0,041
Поисково-разведочный	-	-	-	-	-	-	-	0,040
Массивно-вырубочный	28,02	-	1,121	0,040	50,48	-	2,019	0,040
Монокотлованный	3,97	-	0,159	0,040	6,62	-	0,265	0,040
Селитебный	1,83	-	0,073	0,040	2,01	-	0,080	0,040

Вычислив годовой объем стока исследуемых рек: р. Текушеяха (32 млн. м³), верховьев р. Харучейяха (123 млн. м³), р. Харучейтаркаяха (75 млн. м³), р. Ханупыяха (67 млн. м³), р. Пульпуяха (93 млн. м³), а также среднегодовую концентрацию НУВ в речной воде: 0,67 мг/л для р. Текушеяха, 0,72 мг/л для верховьев р. Харучейяха, 0,48 мг/л для р. Харучейтаркаяха, 0,49 мг/л для реки Ханупыяха и 0,78 мг/л для р. Пульпуяха можно определить суммарный годовой вынос НУВ с исследуемой территории, складывающийся из годового выноса от точечных и рассредоточенных источников загрязнения. В связи с отсутствием рассредоточенных источников загрязнения по всей водосборной территории при проведении расчета годового выноса загрязнения НУВ вместо концентрации используется фоновое значение (0,04 мг/л). Результаты расчетов приведены в таблице 7.

Таким образом, от рассредоточенных источников загрязнения, расположенных на исследуемой территории, в речную воду вносится от 91,85 до 94,83 % нефтяных углеводородов. Данные реки являются одними из многочисленных притоков р. Пякупур, несущей свои воды в р. Пур, впадающую в Тазовскую губу Карского моря.

Мы с высокой долей вероятности предполагаем, что малые реки, дренирующие действующие нефтегазовые месторождения, выносят в Пякупур одинаковый объем НУВ, так как их водосборные территории сопоставимы по площади < 1000 км² и интенсивности добычи нефти и газа. Соответственно, каждая река выносит более 22 тонн НУВ. Это доказывает значимый вклад рассредоточенных источников загрязнения в общее загрязнение речных вод региона.

Годовой вынос нефтеуглеводородов с водосбора верховьев р. Харучейяха

Река	Харучейяха		Текушеяха		Харучейтаркаяха		Ханупыяха		Пульпуяха	
	Количество, тонн	Процент, %								
Фоновый сток НУВ, тонн	4,94	5,27 %	1,3	5,99 %	3,02	8,15 %	2,71	8,14 %	3,75	5,17 %
Годовой вынос НУВ от рассредоточенных источников, тонн	88,87	94,73 %	20,39	94,01 %	33,26	91,85 %	30,58	91,86 %	68,9	94,83 %
Суммарный годовой вынос НУВ, тонн	93,81	100 %	21,69	100 %	36,28	100 %	33,29	100 %	72,65	100 %

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом работы стали следующие выводы:

1. Из всех существующих моделей, позволяющих оценить вклад рассредоточенных источников загрязнения нефтегазодобывающих территорий, идеально подходит модель, разработанная В. М. Калининым. Ее преимущество состоит в том, что она проверена в ландшафтно-гидрологических условиях водосборов малых рек, расположенных в таежной природной зоне Западной Сибири. Также модель учитывает фоновое содержание нефтяных углеводородов в реках региона и опирается на функциональную связь между смывом нефти и площадью нефтезагрязненных земель.

2. Наибольший вклад в загрязнение малых рек, расположенных в бассейне р. Пяку-Пур, вносят рассредоточенные источники, представленные нефтяными разливами, возникающими в результате аварий на кустах скважин, внутрипромысловых и магистральных нефтепроводах.

3. Слабонаклонный плоский рельеф исследуемой части бассейна реки Пяку-Пур, состоящей из водосборных территорий левых притоков, дренирующих действующие нефтегазовые месторождения, в совокупности с избыточным увлажнением благоприятно влияет на развитие и распространение болот, занимающих 48 % площади территории исследования. Поэтому на водосборе преобладают органогенные и гумусовые почвенные горизонты, препятствующие миграции загрязнителей, задерживая в себе большую часть поллютантов. Неконтролируемое поступлением нефтяных углеводородов приводит к перенасыщению почв. В связи с этим загрязнители не могут удерживаться и смываются поверхностным стоком в реки самоочищение которых ослаблено ввиду климатических особенностей и происходит на отрезке 1500-2000 км.

4. Значительная часть аварий на нефтепромысловых объектах приурочена к болотным СФК, но несмотря на это, наибольшая среднегодовая

концентрация нефтеуглеводородов выносятся с водораздельных волнисто-увалистых СФК. Это связано с легким механическим составом почв, плохо задерживающим загрязняющие вещества. Поэтому в воде малых рек наблюдается увеличение среднегодовой концентрации нефтеуглеводородов до 0,722 мг/л.

5. Суммарный годовой вынос нефтеуглеводородов с водосборов рек – притоков реки Пяку-Пур варьирует от 22 до 94 тонн. От рассредоточенных источников загрязнения, расположенных на исследуемой территории, в речную воду вносится от 91,85 до 94,83 % нефтяных углеводородов.

6. Мы с высокой долей вероятности предполагаем, что малые реки, дренирующие действующие нефтегазовые месторождения, выносят в Пяку-Пур одинаковый объем НУВ, так как их водосборные территории сопоставимы по площади < 1000 км² и интенсивности добычи нефти и газа. Соответственно, каждая река выносит более 22 тонн НУВ. Это доказывает значимый вклад рассредоточенных источников загрязнения в общее загрязнение речных вод региона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Книжные издания

1. Антипов А. Н., Вакулин К. Ю., Гелета И. Ф. Ландшафтно-гидрологические характеристики Западной Сибири. Иркутск: ИГ СО РАН, 1989. 221 с.
2. Васильевская В. Д., Иванов В. В., Богатырев Л. Г. Почвы севера Западной Сибири. Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1986. 226 с.
3. Васильев С. В. Воздействие нефтегазодобывающей промышленности на лесные и болотные экосистемы. – Новосибирск: Наука, 1998. – 136 с.
4. Вешкурцева Т. М., Пинигина Е. П. Учение о гидросфере. Гидрология: учебно-методическое пособие для студентов направлений «География», «Гидрометеорология», «Картография и геоинформатика», «Экология и природопользование». Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2015. 56 с.
5. Гашев С. Н., Казанцева М. Н. Степень загрязнения территорий водосборной площади как показатель загрязненности водных экосистем при нефтедобыче // Чистая вода. Тез. докл. 3-го Всероссийского научно-практического семинара. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 1998. 220 с.
6. Гвоздецкий Н.А. Физико-географическое районирование Тюменской области. Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1973. 246 с.
7. Глазовская М.А. Методологические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям. Методич. пособие. М.: Изд-во Московского ун-та, 1997. 102 с.
8. Калинин В. М. Вода и нефть (гидролого-экологические проблемы Тюменского региона): монография. – Тюмень.: Издательство Тюменского государственного университета, 2010. 222 с.
9. Каретин Л. Н. Почвы Тюменской области. Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние, 1990. 286 с.

10. Козин В. В. Ландшафтный анализ в нефтегазопромысловом регионе: Монография. – Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2007. - 240 с.
11. Козин В. В., Маршинин А. В., Осипов В. А. Техногенные системы и экологический риск: учебное пособие. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2008. 256 с.
12. Методические указания по расчету поступления биогенных элементов в водоемы от рассредоточенных нагрузок и установлению водоохранных мероприятий. Москва: Союзводпроект, 1988. 88 с.
13. Михайлов В. Н., Добровольский А. Д., Добролюбов С. А. Гидрология: Учебник для вузов. Москва: Высш. Шк., 2007. 463 с.
14. Пиковский Ю. И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1993. 207 с.
15. Растительный покров Западно-Сибирской равнины / И. С. Ильина, Е. И. Лапшина, Н. Н. Лавриненко [и др.]. Новосибирск: Наука, 1985. 251 с.
16. Рельеф Западно-Сибирской равнины / А. А. Земцов, Б. В. Мизеров, В. А. Николаев [и др.]. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. 192 с.
17. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 15. Алтай и Западная Сибирь. Выпуск 3. Нижний Иртыш и Нижняя Обь. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1973. 424 с.
18. Сизов О. С. Геоэкологические аспекты современных эоловых процессов северотаежной подзоны Западной Сибири. Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2015. 121 с.
19. Солнцева Н. П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. Москва: Изд-во МГУ, 1998. 376 с.
20. Трофимов В. Т. Геокриологическое районирование Западно-Сибирской плиты. Москва: Наука, 1987, 222 с.
21. Хренов В. Я. Почвы Тюменской области: Словарь-справочник. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 156 с.
22. Хорошавин В. Ю. Прогноз формирования качества речных вод под влиянием рассредоточенных источников нефтепродуктов // Вестник Тюменского государственного университета. 2010. № 7. С. 153-161.

23. Texas Nonpoint Source Management Program // Texas Commission on Texas State Soil and Water Environmental Quality Conservation Board, 2017. 254 p.

Законодательные материалы

24. Приказ федерального агентства лесного хозяйства от 10 ноября 2011 года №472 «Об утверждении методических рекомендаций по проведению государственной инвентаризации лесов» (с изменениями на 15 марта 2018 года).

25. Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. N 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

26. Amy G., Pitt R., Singh R. et al. Water Quality Management Planning for Urban Runoff. EPA 440/9-75-004 (NTIS PB 241 689/AS). – U. S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. 1974.

27. Council directive of concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources, 1991.

28. Heaney J. P., Huber W. C., and Nix S. J. Storm Water Management Model. Level I: Preliminary Screening Procedures. EPA-600/2-76-275 (NTIS PB-259916). – U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, 1976.

29. McElroy A. D., Chiu S. Y., Nebgen J. W., et al. Loading functions for assessment of water pollution from non-point sources. – EPA-600/2-76-151 (NTIS PB-253325), U. S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1976.

30. Pisano W. C. and Querioz C. S. Procedures for estimating dry weather pollutant deposition in sewerage systems. – EPA-600/2-77-120 (NTIS PB-270695), U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, 1977.

Электронные издания

31. Болгов М. В., Завьялова Е. В., Зайцева А. В., Осипова Н. В. Оценка диффузного стока с урбанизированных территорий в бассейне р. Волги (на примере г. Ростова) // Водные ресурсы. 2020. № 5. Т. 47. С. 483-492. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43832308> (дата обращения: 18.04.2022).

32. Борзилов В. А., Седунов Ю. С., Новицкий М. А. и др. Физико-математическое моделирование процессов, определяющих смыв долгоживущих радионуклидов с водосборов тридцатикилометровой зоны Чернобыльской АЭС // Метеорология и гидрология. – 1989. №1. С. 5-13. URL: <http://geosib.sgugit.ru/wp-content/uploads/2019/sborniki/tom4-1/134-140.pdf> (дата обращения: 17.05.2022).

33. Булохов А. Д., Петренко А. М. Сообщества класса *Coelero-Corynephoretea Klika in Klika et Novák* 1941 в Брянской области (Россия) // Растительность России. 2017. № 30. С. 29-34. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29521133> (дата обращения: 07.05.2022).

34. Геннадиев А. Н., Пиковский Ю. И. Карты устойчивости почв к загрязнению нефтепродуктами и полициклическими ароматическими углеводородами; метод и опыт составления // Почвоведение. 2007. №. 1. С. 80-92. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9465517> (дата обращения 29.04.2022).

35. Даценко Ю. С., Пуклаков В. В. Имитационное моделирования гидроэкологического режима Нижнекамского водохранилища // Водные ресурсы. 2020. № 5. Т. 47. С. 515-522. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43832311> (дата обращения: 18.04.2023).

36. Калинин В. М. Поступление нефтепродуктов в речную сеть от рассредоточенных источников // Вестник Тюменского университета. 2001. № 2. С. 11-21. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35676669> (дата обращения: 10.05.2022).

37. Капитонова О. А., Селиванов А. Е., Капитонов В. И. Структура растительных сообществ начальных стадий сукцессий на антропогенных песчаных обнажениях лесотундры и северной тайги Западной Сибири // Сибирский экологический журнал. 2017. Т. 24. № 6. С. 731-745. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30767728> (дата обращения: 07.05.2023).

38. Кирейчева Л. В., Лентяева Е. А., Тимошкин А. Д., Яшин В. М. Оценка диффузного загрязнения от сельскохозяйственных территорий в

бассейне верхней Волги и разработка мероприятий по его снижению на примере реки Яхромы // Водные ресурсы. 2020. № 5. Т. 47. С. 523-535. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43832312> (дата обращения: 18.04.2022).

39. Лавриненко О. В., Лавриненко И. А. Растительность класса *Loiseleurio procumbentis–Vaccinietea Eggler ex Schubert 1960* в восточноевропейских тундрах // Растительность России. 2020. № 38. С. 27-84. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43068629> (дата обращения: 07.05.2023).

40. Лавриненко О. В., Лавриненко И. А. Сообщества класса *Охусоссо-Sphagnetea Br.-Bl. et R. Tx. 1943* в восточноевропейских тундрах // Растительность России. 2017. № 26. С. 55-84. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24116648> (дата обращения: 07.05.2022).

41. Лепихин А. П., Возняк А. А., Любимова Т. П., Паршакова Я. Н., Ляхин Ю. С., Богомолов А. В. Исследование особенностей формирования и масштабов диффузного загрязнения, сформированного крупными промышленными комплексами, на примере Соликамско-Березниковского промузла // Водные ресурсы. 2020. № 5. Т. 47. С. 560-566. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43832315> (дата обращения: 18.04.2022).

42. Опекунов А. Ю., Опекунова М. Г., Кукушкин С. Ю., Ганул А. Г. Оценка экологического состояния природной среды районов добычи нефти и газа в ЯНАО // Вестник СПбГУ. Серия 7. Геология. География. 2012. № 4. С. 86-100. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18353646> (дата обращения: 29.04.2022).

43. Поздняков Ш. Р., Брюханов А. Ю., Кондратьев С. А., Игнатьева Н. В., Шмакова М. В., Минакова Е. А., Расулова А. М., Обломкова Н. С., Васильев Э. В., Терехов А. В. Перспективы сокращения выноса биогенных элементов с речных водосборов за счет внедрения наилучших доступных технологий сельскохозяйственного производства (по результатам моделирования) // Водные ресурсы. 2020. № 5. Т. 47. С. 588-602. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43832318> (дата обращения: 18.04.2023).

44. Фащевская Т. Б., Мотовилов Ю. Г. Моделирование загрязнения тяжелыми металлами водотоков в бассейне Нижнекамского водохранилища // Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 5. С. 613-629. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43832320> (дата обращения: 21.04.2022).

45. Хорошавин В.Ю., Калинин В.М., Лужецкая А.В. Ландшафтно-гидрологический анализ территории с целью оценки качества поверхностных вод в условиях средней тайги Западной Сибири // XII Международ. научн. конф. «Ландшафтоведение: теория, методы, ландшафтно-экологическое обеспечение природопользования и устойчивого развития»: (Тюмень-Тобольск, 22-25 августа 2017 г.). – Тюмень: ТюмГУ, 2017. Т. 2. С. 439-444. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=zuytrt> (дата обращения: 17.05.2023).

46. Хорошавин В. Ю., Моисеенко Т. Г. Вынос нефтяных углеводородов реками с территорий нефтегазодобывающих районов севера Западной Сибири // Водные ресурсы. 2014. Т. 41. № 5. С. 518-529. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21826128> (дата обращения: 21. 04. 2023).

47. Якутин М. В., Шарикалов А. Г. Экологическая обстановка на территории Муравленковского нефтегазового месторождения (Западная Сибирь, ЯНАО) по данным дистанционного зондирования // Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий. 2019. № 4. Т. 24. С. 93-109. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42513849> (дата обращения: 10.05.2023).

48. Ясинский С. В., Кашутина Е. А., Сидорова М. В., Нарыков А. Н. Антропогенная нагрузка и влияние водосбора на диффузный сток биогенных элементов в крупных водных объект (на примере водосбора Чебоксарского водохранилища) // Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 5. С. 630-648. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43832321> (дата обращения: 21.04.2022).

49. Ashworth A., Moore P., Pote D., Owens P., Martin J., Anderson K. Conservation management practices reduce non-point source pollution from grazed pastures // Heliyon. 2021. V. 7. № 2. URL: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06238> (дата обращения: 05.04.2022).

50. Baylis, K., Peplow, S., Rausser, G., Simon, L. Agri-environmental policies in the EU and United States: a comparison // *Ecological economics*, 2008. V. 65, № 4, P. 753-764. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.07.034> (дата обращения: 20. 12. 2023).
51. Becker A. EGMO – Einzugsgebietsmodelle zur Abflussberechnung, -vorhersage und -simulation, - *Wasserwirtschaft-Wassertechnik*. – 1975. – Bd. 25, №. 9. P. 316-322. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41220351> (дата обращения: 14.05.2023).
52. Betson R. P. and McMaster M. Non-point source mineral water quality model // *J. Water Pollut. Contr. Fed.* 1975. V. 47, №. 10. URL: <https://www.jstor.org/stable/25038389> (дата обращения: 02.04.2023).
53. Bostian M. B., Barnhart B. L., Kurkalova L. A., Jha M. K., Whittaker G. W. Bilevel optimization of conservation practices for agricultural production // *Journal of cleaner production*, 2021. V. 300. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126874> (дата обращения: 16. 12. 2022).
54. Bostian, A. J. A. Bostian, Moriah B. Laukkanen, Marita Simola, Antti. Assessing the productivity consequences of agri-environmental practices when adoption is endogenous // *Journal of productivity analysis*, 2020. V. 53, № 2. P. 141-162. URL: <https://doi.org/10.1007/s11123-019-00564-7> (дата обращения: 10. 12. 2022).
55. Bostian, M.B., Whittaker, G., Barnhart, B., F€are, R., Grosskopf, S. Valuing water quality tradeoffs at different spatial scales: an integrated approach using bilevel optimization // *Water Resources and Economics*, 2015. V. 11, P. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.wre.2015.06.002> (дата обращения: 14. 12. 2022).
56. Cann C. Effect of various parameters on nitrogen concentration in surface water // *Proc. Second Inter. IAWQ. Spec. Conf. and Symp. Diffuse Pollution. Brno & Prague, Czech Rep., Aug. 13-18, 1995 / V. Chour and M. Holasova, eds. – Praha: Agrodat, a. s., 1995. – P. 263-268. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-009-0345-6_13 (дата обращения: 10.05.2023).*

57. Chabe-Ferret, S., Subervie, J. How much green for the buck? Estimating additional and windfall effects of French agro-environmental schemes by DID-matching // *Journal of environmental economics and management*, 2013. V. 65, № 1, P. 12-27. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2012.09.003> (дата обращения: 15. 12. 2022).
58. Chen Y., Zang L., Shen G., Liu M., Du. W, Fei J., Yang L., Chen L., Wang X., Liu W., Zhao M. Resolution of the Ongoing Challenge of Estimating Nonpoint Source Neonicotinoid Pollution in the Yangtze River Basin Using a Modified Mass Balance Approach // *Environmental Science & Technology*. 2019 V. 53. № 5. P. 2539-2548. URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.8b06096> (дата обращения: 14.05.2022).
59. Chesters G., Stiefel R., Bahr T., et al. Pilot watershed studies summary report. –International Reference Group on Great Lake Pollution from Land Use Activities. Great Lake Regional Office, 1978. URL: <http://hdl.handle.net/10214/14457> (дата обращения: 06.05.2023).
60. Chiang H., Mrittika B., Sianipar C., Onitsuka K., Hoshino S. Capital and symbolic power in water quality governance: stakeholder dynamics in managing nonpoint sources pollution // *Journal of environmental management*, 2021. V. 290. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112587> (дата обращения: 15. 12. 2022).
61. Feng, H., Kurkalova, L.A., Kling, C.L., Gassman, P.W. Environmental conservation in agriculture: land retirement vs. changing practices on working land // *Journal of Environmental Economics and Management*, 2006. V. 52, № 2. P. 600-614. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2006.03.004> (дата обращения: 23. 12. 2023).
62. Fu X., Liu J., Mei C., Luan Q., Wang H., Shao W., Sun P., Huo Y. Effect of typhoon rainstorm patterns on the spatio-temporal distribution of non-point source pollution in a coastal urbanized watershed // *Journal of Cleaner Production*. 2021. V. 292. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126098> (дата обращения: 25. 05. 2023).

63. Gao X, Li B, Jiang S, Nie Y. Can Increasing Scale Efficiency Curb Agricultural Nonpoint Source Pollution? // *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021. V. 18, № 16. URL: <https://doi.org/10.3390/ijerph18168798> (дата обращения: 19. 12. 2022).
64. Giovanopoulou, E., Nastis, S.A., Papanagiotou, E. Modeling farmer participation in agri-environmental nitrate pollution reducing schemes // *Ecological economics*, 2011. V. 70, № 11, P. 2175-2180. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.06.022> (дата обращения: 17. 12. 2022).
65. Gozzard E., Mayes W.M., Potter H.A.B., Jarvis A.P. Seasonal and spatial variation of diffuse (non-point) source zinc pollution in a historically metal mined river catchment, UK // *Environmental Pollution*. 2011. V. 159. № 10. P. 3113-3122. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.02.010>. (дата обращения: 02.05.2022).
66. Grammatikopoulou, I., Pouta, E., Муур`а, S. Exploring the determinants for adopting water conservation measures. What is the tendency of landowners when the resource is already at risk? // *Journal of environmental planning and management*, 2016 V. 59, P. 993–1014. URL: <https://doi.org/10.1080/09640568.2015.1050551> (дата обращения: 10. 12. 2022).
67. Haas, M.B., Guse, B., Fohrer, N. Assessing the impacts of Best Management Practices on nitrate pollution in an agricultural dominated lowland catchment considering environmental protection versus economic development // *Journal of environmental management*, 2017. V. 196, P. 347-364. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.02.060> (дата обращения: 20. 12. 2022).
68. Haith D. A. A mathematical model for estimating pesticide in runoff // *J. Env. Qual.*, 1980. V. 9, № 3. P. 428-433. URL: <https://doi.org/10.2134/jeq1980.00472425000900030021x> (дата обращения: 04.04.2023).
69. Hynes, S., Farrelly, N., Murphy, E., O'Donoghue, C. Modelling habitat conservation and participation in agri-environmental schemes: a spatial microsimulation approach // *Ecological economics*, 2008. V. 66, № 2-3, P. 258-269. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.02.006> (дата обращения: 15. 12. 2022).

70. Keiser, D.A., Kling, C.L., Shapiro, J.S. The low but uncertain measured benefits of US water quality policy // Proceedings of the National Academy of Sciences, 2019. V. 116, №. 12, P. 5262-5269. URL: <https://doi.org/10.1073/pnas.1802870115> (дата обращения: 16. 12. 2022).

71. Laukkanen, M., Nauges, C. Evaluating greening farm policies: a structural model for assessing agri-environmental subsidies // Land Economics, 2014 V. 90, № 3, P. 458-481. URL: <https://doi.org/10.3368/le.90.3.458> (дата обращения: 18. 12. 2022).

72. Lichtenberg, E., Shortle, J., Wilen, J., Zilberman, D. Natural resource economics and conservation: contributions of agricultural economists and agricultural economists // American Journal of Agricultural Economics, 2010. V. 92, № 2, P. 469-486. URL: <https://doi.org/10.1093/ajae/aaq006> (дата обращения: 20. 12. 2022).

73. Liu G., Yang Z., Chen B., Ulgiati S., Monitoring trends of urban development and environmental impact of Beijing, 1999–2006 // Science of The Total Environment. 2011. V. 409, № 18. P. 3295-3308. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.05.045> (дата обращения: 05. 04. 2023).

74. Liu Z., Wang S., Xue B., Li R., Geng Y., Yang T., Li Y., Dong H., Luo Z., Tao W., Gu J., Wang Y. Emergy-based indicators of the environmental impacts and driving forces of non-point source pollution from crop production in China // Ecological Indicators. 2021. V. 121. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107023> (дата обращения: 25. 05. 2023).

75. Mary, S. Assessing the impacts of Pillar 1 and 2 subsidies on TFP in French crop farms // Journal of agricultural economics, 2013. V. 64, №. 1, P. 133-144. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1477-9552.2012.00365.x> (дата обращения: 12. 12. 2022).

76. Miller R. A., Mattraw H. C. Jr., and Jennings M. E. Statistical modeling of urban storm water processes, Broward County, Florida // Proc. Intern. Symp. On Urban Storm Water Management. University of Kentucky, Lexington, KY. 1978. P. 269-273. URL: <https://trid.trb.org/view/80993> (дата обращения: 16. 04. 2022).

77. Ongley, E.D., Zhang, X.L., Yu T. Current Status of Agricultural and Rural Non-Point Source Pollution Assessment in China // *Environmental Pollution*. 2010. № 158. P. 1159-1168. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2009.10.047> (дата обращения: 19.05.2023).

78. Piot-Lepetit, I., Le Moing, M. Productivity and environmental regulation: the effect of the nitrates directive in the French pig sector // *Environmental and Resource Economics*, 2007. V. 38, № 4, P. 433-446. URL: <https://doi.org/10.1007/s10640-007-9086-7> (дата обращения: 21. 12. 2022).

79. Plantinga, A.J. Integrating economic land-use and biophysical models // *Annual Review of Resource Economics*, 2015. V. 7, P. 233-249. URL: <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100814-125056> (дата обращения: 21. 12. 2022).

80. Pufahl, A., Weiss, C.R. Evaluating the effects of farm programmes: results from propensity score matching // *European review of agricultural economics*, 2009. V. 36 № 1, P. 79-101. URL: <https://doi.org/10.1093/erae/jbp001> (дата обращения: 18. 12. 2022).

81. Rabotyagov, S.S., Valcu, A., Kling, C.L. Reversing property rights: practicebased approaches for controlling agricultural nonpoint-source water pollution when emissions aggregate nonlinearly // *American Journal of Agricultural Economics*, 2014. V. 96, № 2, P. 397-419. URL: <https://doi.org/10.1093/ajae/aat094> (дата обращения: 15. 12. 2022).

82. Reitz A., Hemric E., K Hall K. Evaluation of a multivariate analysis modeling approach identifying sources and patterns of nonpoint fecal pollution in a mixed use watershed // *Journal of environmental management*, 2021. V. 277. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111413> (дата обращения: 18. 12. 2022).

83. Schaffner M., Bader H., Scheidegger R. Modeling the contribution of point sources and non-point sources to Thachin River water pollution, *Science of The Total Environment*, V. 407, № 17, 2009. P. 4902-4915. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.05.007>. (дата обращения: 02.05.2023).

84. Sujay S. Kaushal, Peter M. Groffman, Lawrence E. Band, Emily M. Elliott, Catherine A. Shields, and Carol Kendall // *Environmental Science & Technology*. 2011 V.45. № 19, P. 8225-8232. URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es200779e> (дата обращения: 29.05.2023).

85. Vollenweider R. A. Assessment of mass balance // *Principles of lake management / S. E. Jorgensen and R. A. Vollenweider, eds.* (Guidelines of lake management. – Vol. 1.) – Shiga, Japan: ILEC/UNEP Publ., 1989. P. 53-69. URL: <https://www.ilec.or.jp/en/guideline/> (дата обращения: 11.05.2023).

86. Wan W., Han Y., Wu H., Liu F., Liu Z. Application of the source–sink landscape method in the evaluation of agricultural non-point source pollution: First estimation of an orchard-dominated area in China // *Agricultural Water Management*. V. 252, 2021. URL: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106910> (дата обращения: 16. 04. 2023).

87. Watzold, F., Lienhoop, N., Drechsler, M., Settele, J. Estimating optimal conservation in the context of agri-environmental schemes // *Ecological economics*, 2008. V. 68, № 1-2, P. 295-305. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.03.007> (дата обращения: 22. 12. 2022).

88. Whittaker, G., F€are, R., Grosskopf, S., Barnhart, B., Bostian, M.B., Mueller-Warrant, G., Griffith, S. Spatial targeting of agri-environmental policy using bilevel evolutionary optimization // *Omega International Journal of Management Science*, 2017. V. 66, P. 15-27. URL: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2016.01.007> (дата обращения: 9. 12. 2022).

89. Zhang Y., Long H., Li Y., Tu S., Jiang T. Non-point source pollution in response to rural transformation development: A comprehensive analysis of China's traditional farming area // *Journal of Rural Studies*. 2021. V. 83. P. 165-176. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.10.010> (дата обращения: 19. 05. 2022).

90. Zhang, J., Mauzerall, D.L., Zhu, T., Liang, S., Ezzah, M., Remais, J.V. Environmental Health in China: Progress towards Clean Air and Safe Water // *Lancet*. 2010. V.375, №. 9720. P. 1110-1119. URL: [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(10\)60062-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(10)60062-1) (дата обращения: 24.05.2023).

91. Zhang, L. Big data, knowledge mapping for sustainable development a water quality index case study // *Emerging Science Journal*, 2019. V. 3, P. 249–254. URL: <https://doi.org/10.28991/esj-2019-01187> (дата обращения: 10. 12. 2022).

92. Zhang, M. and Xu, J. (2011), Non-Point Source Pollution, Environmental Quality, and Ecosystem Health in China: Introduction to the Special Section. *Qual.*, 40: 1685-1694. <https://doi.org/10.2134/jeq2011.0170> (дата обращения: 24.05.2023).

Составные части документов

93. Возженников О. И., Войтченко А. Г., Новицкий М. А. Камерная модель для оперативного прогноза загрязнения водных объектов // *Водные ресурсы*. – 1990. - № 6. – С. 94-97.

94. Глазовская М. А., Пиковский Ю. И. Скорость самоочищения почв от нефти в различных природных зонах // *Природа*. 1980. № 5. С. 118-119.

95. Кондратьев С. А. Оценка возможных антропогенных изменений стока и выноса биогенных элементов с малых водосборов лесной зоны на основе математической модели // *Водные ресурсы*. – 1990. № 3. – С. 24-32.

96. Солнцева Н. П. Общие закономерности трансформации почв в районах добычи нефти (формы проявления, основные процессы, модели). // *Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем*. М.: Наука. 1988. С. 23-42.

97. Сухенко С. А., Криссинель Е. Б., Михайлов С. А. Прогноз влияния регулирования стока р. Катунь на транспорт ртути из зоны месторождений // *Метеорология и гидрология*. 1993. № 10. С. 47-53.

98. Шарикалов А. Г., Якутин М. В. Динамика лесных экосистем на территориях месторождений углеводородного сырья в подзоне северной тайги Западной Сибири // *Интерэкспо ГО-Сибирь-2012. VIII Международ. научн. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология»: сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 10-20 апреля 2012 г.)*. – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 2. – С. 61-66.

Картографические издания

99. Атлас Тюменской области. Выпуск 1. Москва-Тюмень: Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР, 1971. 1 атл. (198 с.).

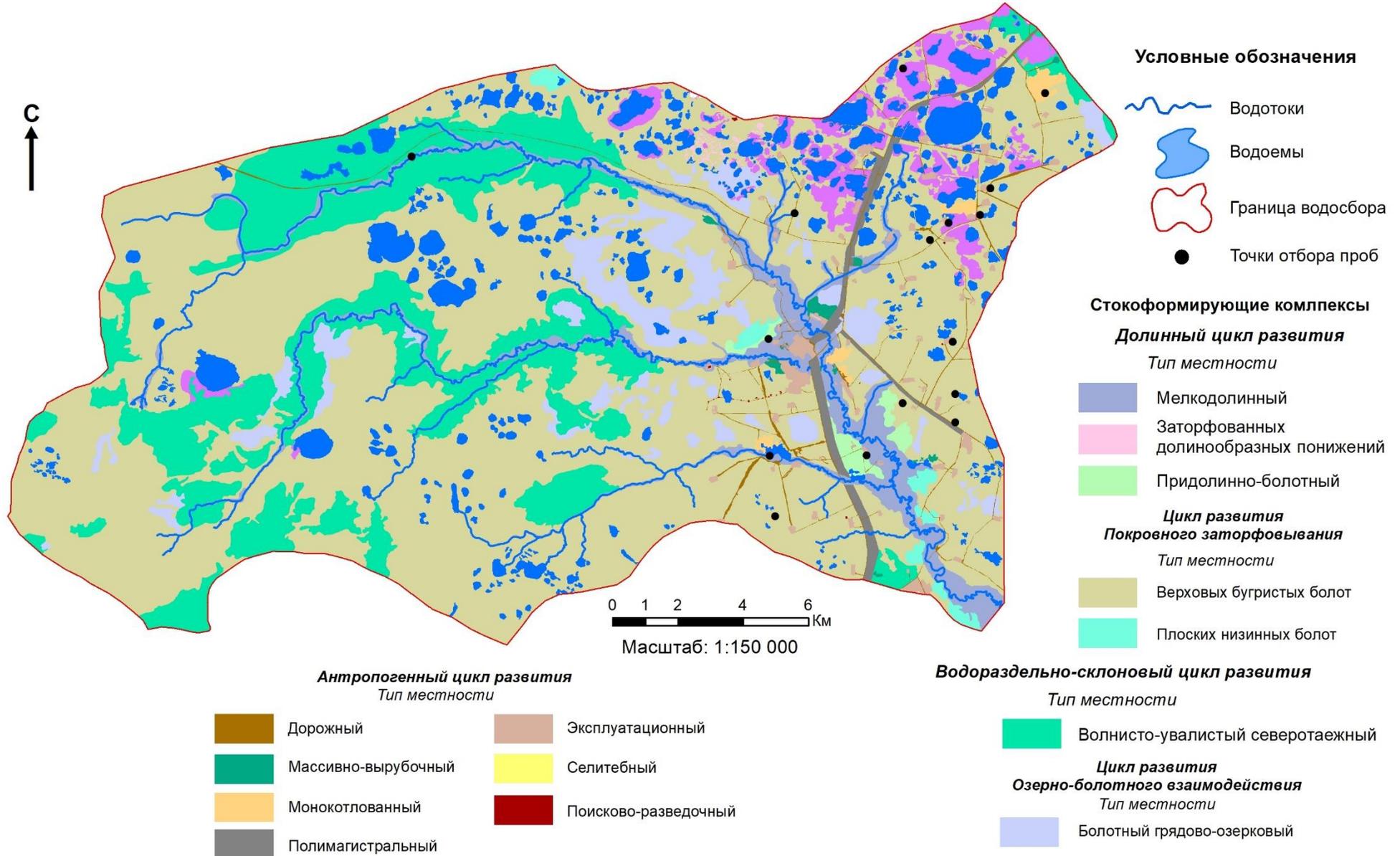
100. Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа. Омск: ФГУП «Омская картографическая фабрика», 2004. 1 атл. (303 с.).

101. Национальный атлас почв Российской Федерации. Москва.: Астрель, 2011. 1 атл. (632 с.).

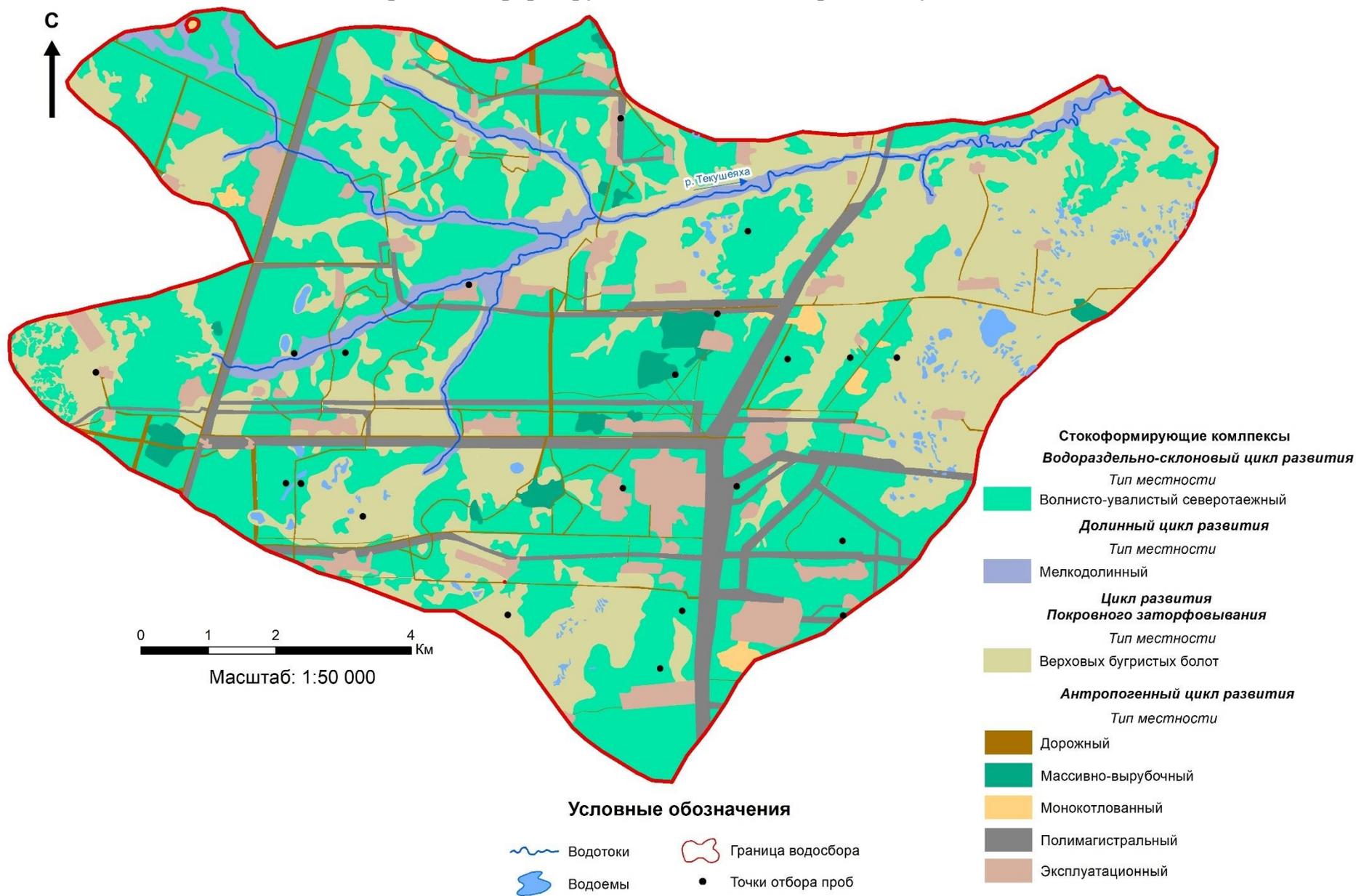
ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

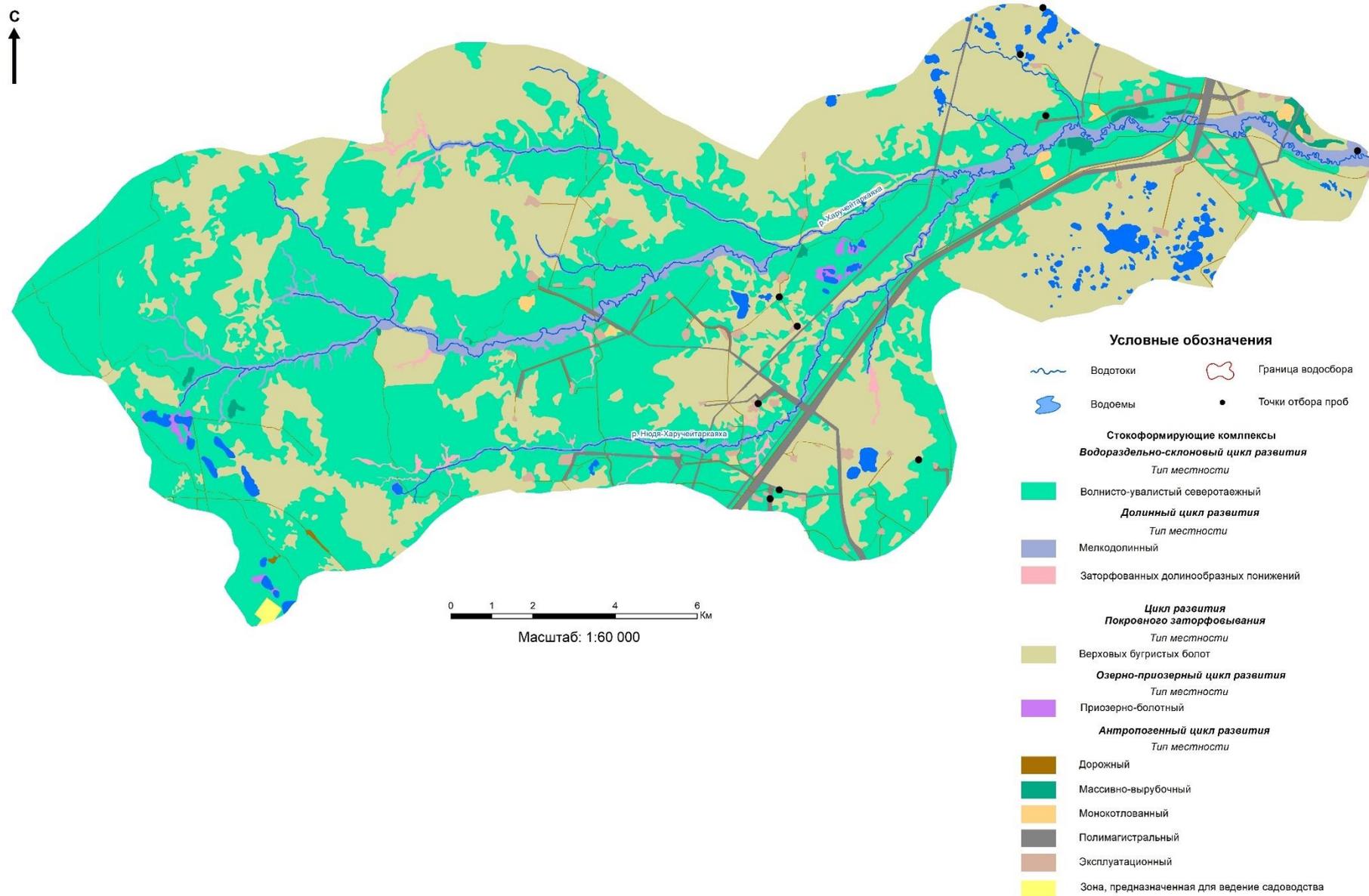
Карта стокоформирующих комплексов верховьев реки Харучейяхи



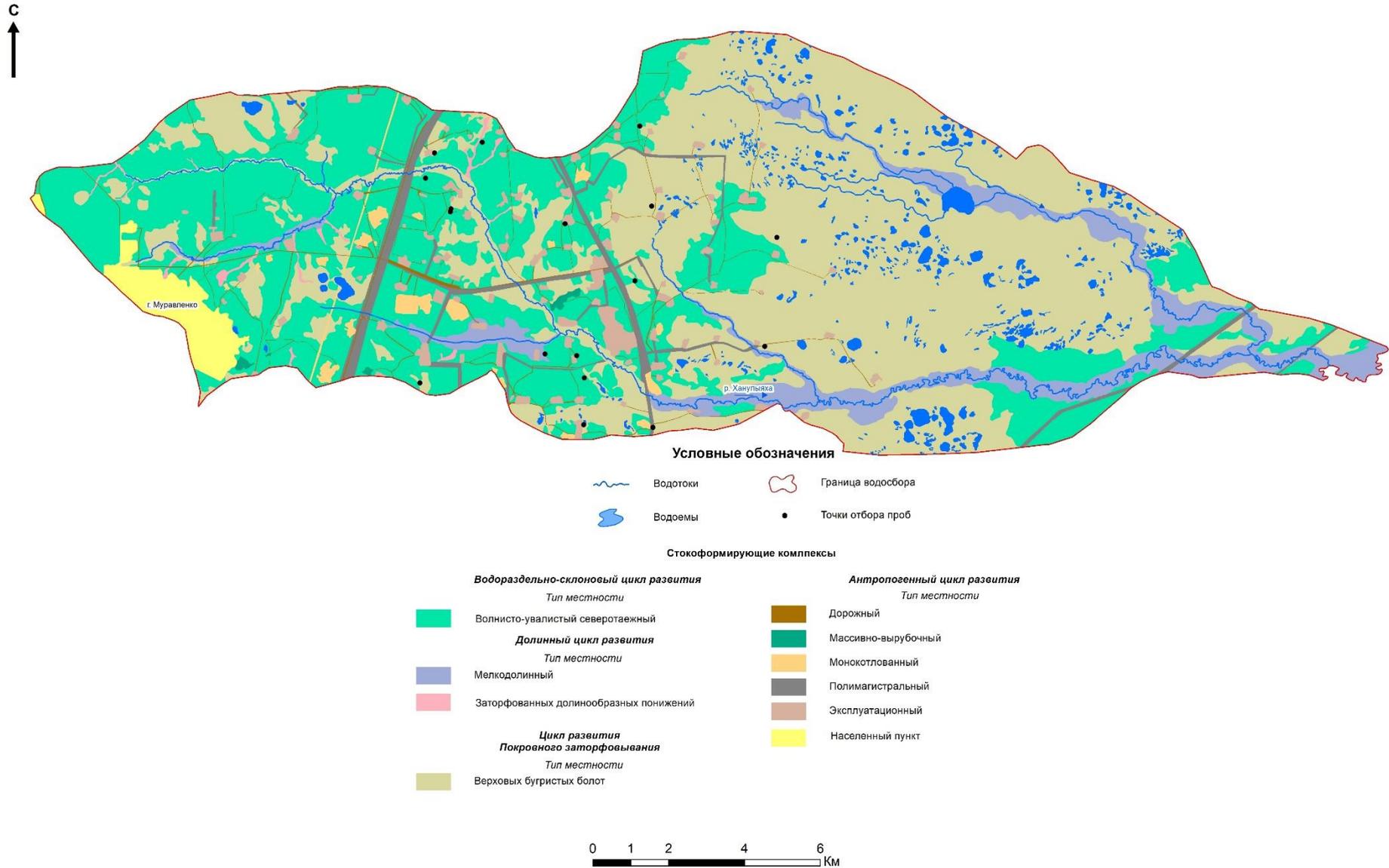
Карта стокоформирующих комплексов реки Текушейяхи



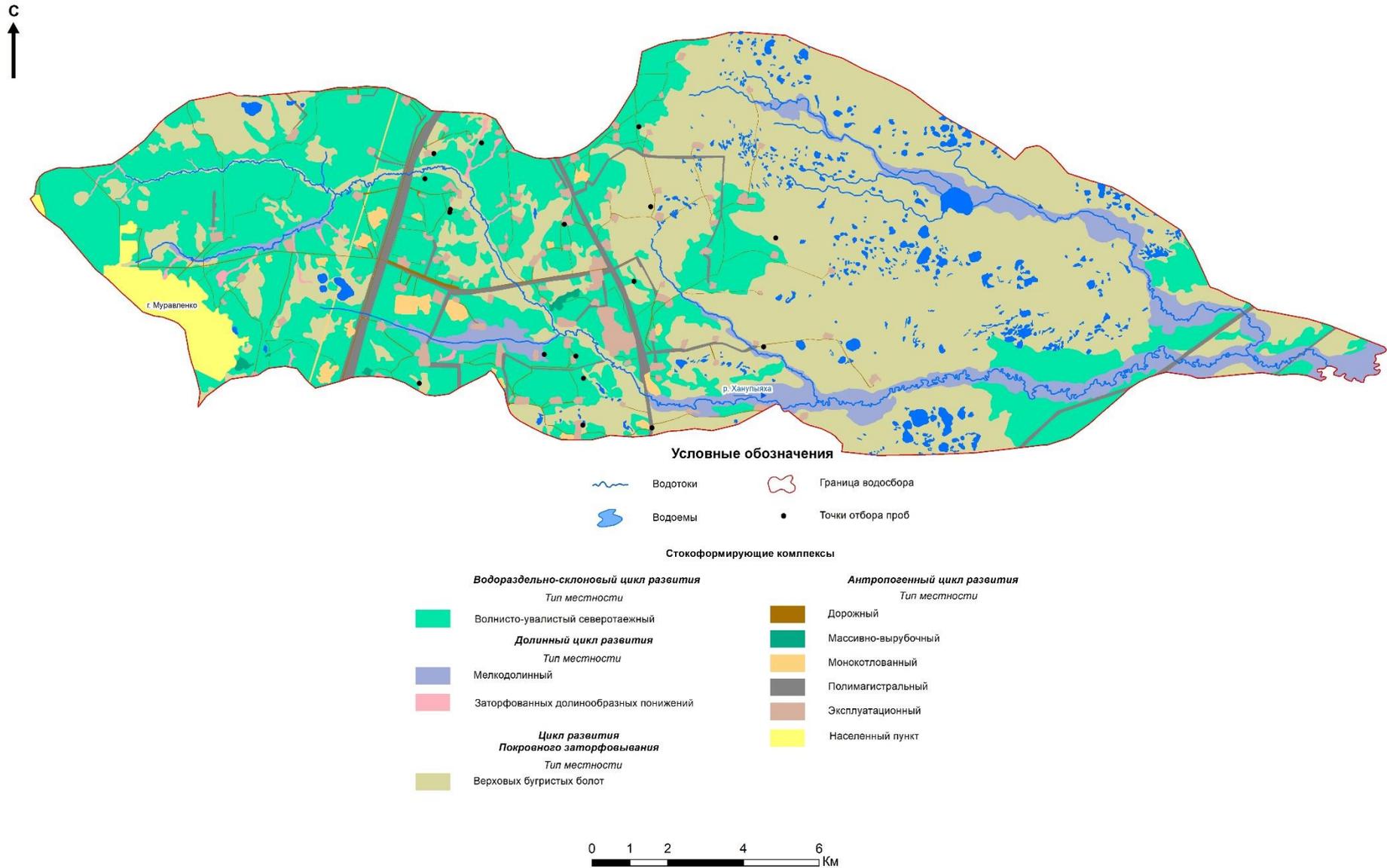
Карта стокоформирующих комплексов реки Харучейтаркаяхи



Карта стокоформирующих комплексов реки Ханупяхи



Карта стокоформирующих комплексов реки Пульпяхи



Карта стокоформирующих комплексов реки – притоков реки Пяку-Пур

