

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

Институт наук о Земле  
Кафедра геоэкологии и природопользования

РЕКОМЕНДОВАНО К ЗАЩИТЕ В ГЭК  
Заведующий кафедрой  
Доктор биологических наук  
\_\_\_\_\_ А.В., Синдирева  
\_\_\_\_\_ 2021 г.

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
магистерская диссертация

Трансформация стока малых рек в условиях криолитозоны под влиянием  
строительства нефтегазопромысловых объектов (на примере Восточно-  
Таркосалинского месторождения)

05.04.06 Экология и природопользование  
Магистерская программа «Геоэкология нефтегазодобывающих регионов»

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

Макаров Михаил  
Андреевич

Научный руководитель  
(доцент, к.г.н.)

Хорошавин Виталий  
Юрьевич

Рецензент  
(к.б.н., главный специалист ООО  
«ИнтерТайм»)

Корнилов Алексей  
Леонидович

Тюмень  
2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. ПРИРОДНЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА Р. ТАЙЯХА	6
1.1. ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ, ГЕОЛОГИЯ И РЕЛЬЕФ .....	6
1.2. КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ .....	10
1.3. ГИДРОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ.....	14
1.4. ПОЧВЕННЫЙ И РАСТИТЕЛЬНЫЙ ПОКРОВ .....	18
ГЛАВА 2. ТЕОРИЯ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ТРАНСФОРМАЦИИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА.....	22
2.1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ И СТАНОВЛЕНИЯ ЛАНДШАФТНОГО НАПРАВЛЕНИЯ В ГИДРОЛОГИИ .....	22
2.2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛАНДШАФТНО-ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА.....	25
2.3. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ТРАНСФОРМАЦИИ СТОКА ПРИ ЛАНДШАФТНО-ГИДРОЛОГИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ .....	29
ГЛАВА 3. ТРАНСФОРМАЦИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ НАРУШЕННОСТИ ВОДОСБОРА.....	35
3.1. ВИДЫ АНТРОПОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ РАЙОНАХ.....	35
3.2. ТЕХНОГЕННЫЕ ФОРМЫ РЕЛЬЕФА НА ВОДОСБОРЕ Р. ТАЙЯХА ..	39
3.3. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ТРАНСФОРМАЦИИ СТОКА ПОД ВЛИЯНИЕМ ТЕХНОГЕННЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА НА РАЗНЫХ ЭТАПАХ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ .....	46
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	53
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	55
ПРИЛОЖЕНИЯ 1-8 .....	58

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время продолжается интенсивное развитие как новых нефтегазовых месторождений, так и доразведка с дальнейшим обустройством участков старого фонда Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, в частности Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО). С разработкой месторождений связаны существенные техногенные преобразования рельефа бассейнов рек, которые приводят к трансформации гидрологических процессов. Особенно подвержен изменениям сток малых рек, находящихся в условиях криолитозоны. Изменения гидрологического режима способны привести к разрушению инфраструктуры месторождений, заболачиванию и в долгосрочной перспективе к изменению элементов уравнения водного баланса. На данный момент, в силу отсутствия режимных наблюдений на реках данной территории, такие преобразования никак не учитываются. Таким образом, поиск методов оценки и количественная оценка преобразований речного стока является важнейшей задачей для рек нефтегазодобывающих регионов.

Научная новизна заключается в том, что впервые ландшафтно-гидрологический анализ был применен на количественную оценку преобразования стока в результате техногенного рельефообразования на разных этапах освоения месторождений.

Цель исследования: количественная оценка трансформации стока малых рек в условиях криолитозоны под влиянием строительства объектов нефтегазодобычи на разных этапах освоения месторождения.

Объект исследования: малые реки и их водосборы в условиях криолитозоны и техногенного рельефообразования в результате развития нефтепромыслов.

Предмет исследования: количественная трансформация стока.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. Выявить особенности природных и антропогенных процессов формирования стока малых рек в условиях криолитозоны;
2. Рассмотреть методы количественной оценки трансформации стока в условиях криолитозоны;
3. Оценить степень преобразования количественных показателей стока малых рек под влиянием техногенного рельефообразования на разных этапах освоения месторождения.

Для достижения поставленной цели и задач использован ландшафтно-гидрологический анализ малых водосборов и методы дистанционного зондирования для составления картографического материала и оценки степени преобразования водосбора за разновременной период.

Защищаемые положения:

- Применение ландшафтно-гидрологического анализа позволяет провести количественную оценку трансформации речного стока в условиях криолитозоны при отсутствии режимных наблюдений;
- Степень преобразования речного стока зависит от площади и характера техногенного рельефообразования, что непосредственно связано с этапом разработки месторождения.

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения, библиографического списка и приложений. Работа представлена на 57 страницах печатного текста, включая 8 рисунков, 8 таблиц, 8 приложений.

Во введении отражены актуальность исследования, новизна темы выпускной квалификационной работы, цель, задачи.

В первой главе рассмотрены природные факторы формирования стока.

Во второй главе приводится обзор методов исследования и описание методики расчетов.

В третьей главе проведена количественная оценка преобразования стока.

В заключении отражены выводы о проделанной работе.

В приложениях 1-5 представлен картографический материал, в приложения 6-8 – количественные характеристики стокоформирующих комплексов.

## ГЛАВА 1. ПРИРОДНЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА Р. ТАЙЯХА

Формирование речного стока происходит при содействии ряда факторов атмосферы, литосферы, гидросферы и биосферы. Таким образом, изучение природных условий водосборного бассейна, является одной из важнейших задач для понимания генезиса протекающих гидрологических процессов. В представленной главе, рассмотрены физико-географические условия территории и их влияние на формирование гидрологического режима.

### 1.1. ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ, ГЕОЛОГИЯ И РЕЛЬЕФ

Территориально бассейн р. Тайяха (Рис. 1) находится на территории Западно-Сибирской равнины, в субарктическом поясе, подзоне северной тайги Пур-Тазовской провинции (Физико-географическое..., 1973).

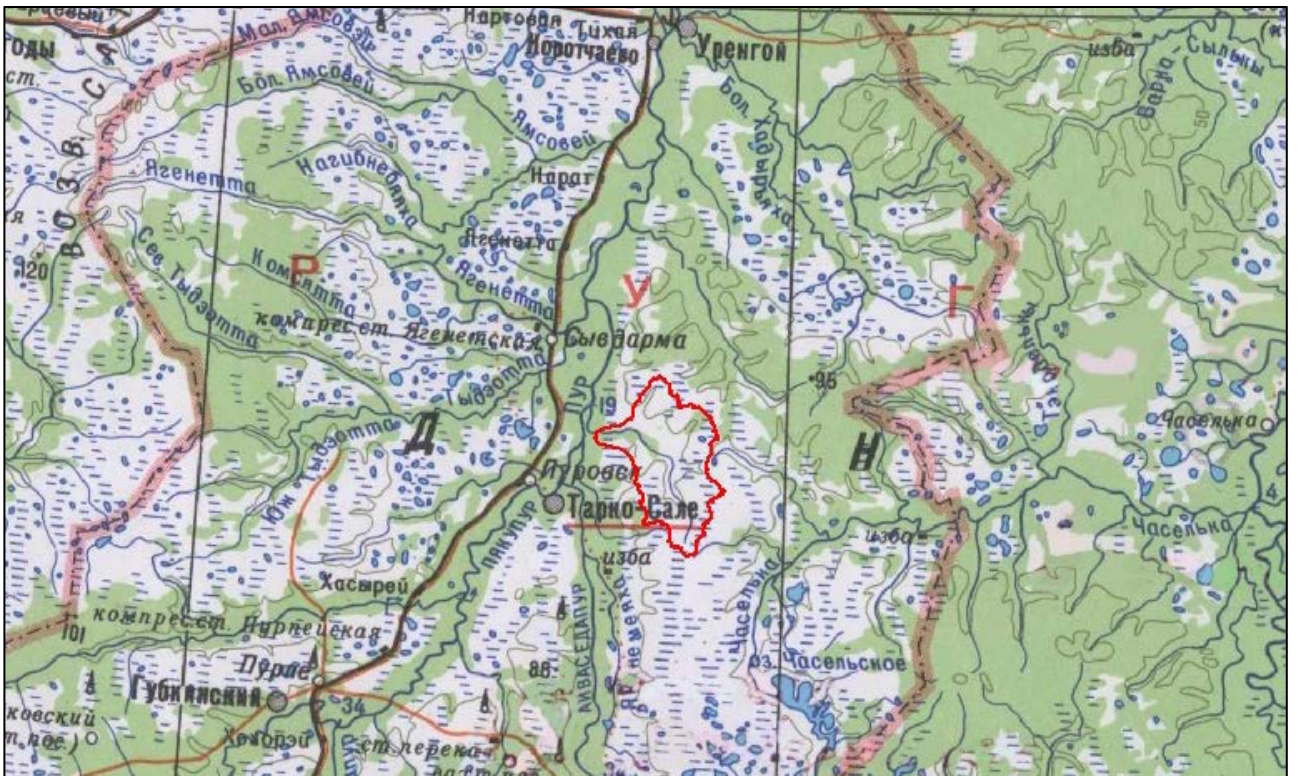


Рис. 1. Обзорная карта-схема месторасположения бассейна р. Тайяха

[составлено автором]

В административном отношении относится к Пуровскому району Ямало-Ненецкого автономного округа и расположен в 560 км юго-восточнее г. Салехард. Бассейн расположен на территории Восточно-Таркосалинского месторождения.

Определяя климатические и метеорологические условия, геологический состав, характер почвенного и растительного покрова, именно географическое положение выступает в роли основополагающего фактора в формировании стока.

Характер поверхности водосбора и слагающий его геологический состав пород оказывают большое влияние на процессы формирования речного стока.

Расчлененность рельефа является важной характеристикой, которая определяется целым рядом природных условий, из которых ведущая роль отводят составу горных пород и геологическому строению (Закономерности..., 2002).

Геологически, изучаемая территория является частью молодой эпигерцинской Западно-Сибирской плиты. Нижний структурно-тектонический ярус образован породами кристаллического фундамента. Фундамент в стратиграфической последовательности перекрыт морскими и континентальными осадочными образованиями юрской, меловой, палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем, которые образуют мощный мезозойско-кайнозойский платформенный чехол (Атлас..., 1971).

Территория района приурочена к Пур-Тазовской провинции северо-таёжной подзоны равнинной широтно-зональной области. Это невысокая возвышенность с абсолютными высотами 70-80 м сильно заозёрена и заболочена (Атлас..., 1971).

В геологическом строении территории принимают участие морские и ледниково-морские отложения салехардской свиты и поздне-четвертичные озёрно-аллювиальные отложения III-IV надпойменных террас, перекрытые на значительной площади современными озёрно-болотными отложениями (Атлас..., 1971).

Влияние геоморфологических факторов прослеживается на элементах водного баланса (осадки, испарение, инфильтрация влаги в почвогрунты), максимальных расходах паводков и половодий. От уклона поверхности изменяются поверхностный сток и инфильтрация, за счет уменьшения просачивания при больших его значениях. Скорость движения воды также непосредственно связана с уклоном. В следствии, больших уклонов и отсутствия микропонижений, в которых происходит аккумулярование стока, на инфильтрацию и испарение расходуется меньше влаги (Закономерности..., 2002).

Сток рек криолитозоны формируется в условиях распространения на территории водосбора многолетнемерзлых пород. Временную продолжительность зимней межени с низкими расходами воды определяет наличие многолетнемерзлых пород (Особенности..., 2001).

Исследуемая территория относится к области прерывистого распространения многолетних мёрзлых пород (ММП). ММП развиты на значительных площадях надпойменных террас, на которых верхняя часть разреза сложена торфами или торфяно-суглинистыми отложениями (Особенности..., 2001).

Прерывистый характер распространения мерзлых пород способствует установлению тесной связи гидравлической взаимосвязи поверхностных и подземных вод через многочисленные талики, развитые как в речных долинах, так и на водораздельных участках (Зимний сток..., 2001).

Для данного района работ типичны мощности толщи верхнего слоя мерзлоты до 10-70 м, причём максимальные их величины приурочены к обширным торфяникам (Зимний сток..., 2001).

Для озёрно-аллювиальных отложений характерна повышенная льдистость в верхней части разреза, при этом между гранулометрическим составом и льдистостью описываемых отложений существует достаточно чёткая взаимосвязь (Зимний сток..., 2001).



Для глинистых пород наиболее характерна слоистая криогенная текстура с различной мощностью ледяных прослоек (от миллиметра до 5-10 см). При их оттаивании можно ожидать значительные тепловые осадки (Атлас..., 1971).

Песчаные породы, с типичной для них массивной криогенной структурой, в большинстве случаев при оттаивании не дадут заметных осадков. Исключения могут составить лишь мёрзлые пылеватые пески на отдельных участках надпойменной террасы (Атлас..., 1971).

Льдистость описываемых комплексов пород различна, поскольку их дисперсность неодинакова. Наиболее льдистыми являются верхнеплейстоценовые – голоценовые отложения (Атлас..., 1971).

Установлено, что практически на всей территории массивы торфяников, поверхность которых хотя бы немного возвышается над окружающей территорией, находятся в мёрзлом состоянии. Торф, слагающий мёрзлые массивы, сильно льдистый. Высокая льдистость мёрзлых торфяников обуславливает значительные осадки при их оттаивании (Атлас..., 1971).

Талые породы занимают значительные площади и приурочены в основном к залесённым, хорошо дренированным, возвышенным и расчленённым участкам равнины. Также они встречаются под озёрами и болотами с водной поверхностью, под долинами рек. Пониженные участки, занятые мочажинами тоже талые (Атлас..., 1971).

Сглаживание пиков половодья и паводков, как и увеличение стока в меженный период, определяется глубиной сезонно-талого слоя, которая в свою очередь, способствует увеличению объемов подземных вод. Данные обстоятельства приводят к уменьшению отношений максимальных расходов к минимальным (Особенности..., 2001).

На изучаемой территории широкое распространение получили мерзлотные процессы и разнообразные формы их проявления в рельефе. Практически все мёрзлые торфяники осложнены термокарстовыми процессами. Берега озёр обычно сложены торфом и подвержены интенсивной термоабразии. В процессе развития процессов некоторые термокарстовые озёра осушаются,

зарастают травой и мхами, превращаясь в древние термокарстовые формы рельефа. К этой стадии относятся «хасыреи» - обширные спущенные термокарстовые озёра, в чаше которых, как правило, отмечаются мелкие озёрки (Особенности...., 2001).

В результате взаимодействия выше охарактеризованных мерзлотных и некоторых других процессов образуются наложенные специфические мерзлотные формы рельефа, такие как бугристо-западинные (Атлас...., 1971).

На территории исследования встречаются торфяные бугры, сложенные сверху торфом, мощностью от 0,5 до 3,0–4,5 м, под которым залегают сильно льдистые минеральные ядра, состоящие в основном из льда и суглинков, реже – супесчаного материала (Атлас...., 1971).

Криогенные процессы (пучение, термокарст, термосуффозия, термоабразия, сезонное и многолетнее новообразование мерзлых и талых пород) соседствуют с такими характерными для более умеренных широт экзогенными процессами, как склоновая, русловая и овражная эрозия, суффозия, заболачивание и торфообразование. Перечисленные виды процессов может спровоцировать хозяйственная деятельность человека. Например, скорости термоабразии берегов, активизированной деятельностью человека, могут достигать 10–20 м/год (Атлас...., 1971).

Развитие мерзлотных процессов может привести к заболачиванию территории, образованию провальных форм рельефа и повышению расчлененности рельефа вследствие действия эрозионных процессов, что в свою очередь изменяет уклоны местности (Основы геофизиологии...., 2005).

## 1.2. КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Рассматривая роль климата в формировании стока, выделяют следующие аспекты влияния:

- климат определяет приходную часть водного баланса (осадки, снежный покров) и потенциальные возможности расходования почвенной влаги на испарение и транспирацию;

- климат оказывает влияние на сток через почвенный покров и через растительность, благодаря тому, что их генетические свойства также связаны с климатом.

Влияние теплового баланса подстилающей поверхности, циркуляция атмосферы, наличие ММП определяет ведущие процессы формирования стока.

Ближайшей метеостанцией, по данным которой приводится климатическая характеристика района исследования и расчет количественных характеристик стокоформирующих комплексов, является метеостанция Тарко-Сале.

Климат территории исследования континентальный, преобладают холодные арктические воздушные массы. Морозная и ясная погода, формируется главным образом под влиянием Азиатского антициклона (Орлова, 1962).

Активность западного циклонального переноса возрастает при ослаблении Азиатского антициклона. Это приводит к проникновению на территорию значительно трансформированных морских воздушных масс с Атлантики. Их вторжение сопровождается потеплением, снегопадами, оттепелями. Северные и северо-западные циклоны приносят резкое похолодание, особенно ошутимое в переходные сезоны года. Загрязнение нижних слоев атмосферы обуславливаются наличием инверсий, общая частота которых составляет порядка 60% (Орлова, 1962).

В равнинной части участка исследования, понижениях рельефа - долинах рек, котловинах, на заболоченных местах – заморозки прекращаются на 5-10 дней позднее. Осенью здесь они начинаются на 5-15 дней раньше. Продолжительность безморозного периода сокращена на 10-25 дней. Выхолаживание происходит в результате деятельности снежного покрова, как составной части подстилающей поверхности (Орлова, 1962).

Неравномерное поступление солнечной радиации происходит из-за северного расположения территории исследования. Число дней без солнца – 125-150, максимум наблюдается в декабре-январе до 25-30 дней (Научно прикладной..., 1998).

Суммарная солнечная радиация составляет порядка 1400-1500 МДж/м<sup>2</sup> в год. Резко выражены различия её годового хода, максимум - в июне (до 600 МДж/м<sup>2</sup>), минимум приходится на декабрь-январь (0-4 МДж/м<sup>2</sup>) (Научно прикладной..., 1998).

Равнинность территории, малый приток солнечной радиации, повышенная циклоническая деятельность, может приводить к быстрым перепадам температуры.

В теплый период года радиационный баланс положителен, и характеризуется наибольшими величинами. В июне-июле он составляет 33-40 МДж/см<sup>2</sup>. Отрицательный баланс наблюдается в период с октября по март, достигая наименьших значений в ноябре-декабре (-4,6 МДж/см<sup>2</sup>). Годовой радиационный баланс составляет 800-900 МДж/м<sup>2</sup> в год, причем летом за июнь-август поступает около 60%. Расход тепла на испарение (72-75% от радиационного баланса), является основной частью расхода солнечной энергии (Научно прикладной..., 1998).

От внутригодового хода температуры воздуха зависят сроки наступления главной фазы водного режима рек – половодья. Температурный режим в период снеготаяния во многом определяет интенсивность, форму гидрографа половодья и величину максимального стока (Закономерности..., 2002).

Глубина сезонного промерзания почвы, мощность и характер вечной мерзлоты связаны со значениями температуры зимнего периода. Фильтрационные способности и условия пополнения запасов подземных вод в теплый период, обуславливаются сезонным и многолетним промерзанием почво-грунтов (Закономерности..., 2002).

При глобальных изменениях климата в сторону потепления наибольшая интенсивность изменений будет приходиться на области высоких широт

северного полушария, что приведет к изменению состояния многолетнемерзлых грунтов (их таяние) (Закономерности..., 2002).

Более высокая температура воздуха как в зимний, так и в летний период будет способствовать увеличению температуры мерзлых грунтов и более глубокому сезонному протаиванию, что в свою очередь приведет к сокращению площади приповерхностных многолетнемерзлых грунтов (Закономерности..., 2002).

Исходя из вышесказанного, влияние температуры на соотношение различных источников питания, участвующих в формировании речного стока, так и на режим этого стока температура воздуха является весьма значительным (Закономерности..., 2002).

Главнейшим элементом климата, участвующим в формировании водного режима и стока рек являются атмосферные осадки.

Общая циркуляция атмосферы, фронтальная деятельность западных циклонов определяют количество и распределение осадков на территории исследования.

Годовое количество осадков с поправкой на смачивание составляет в среднем 584 мм/год. 28% осадков приходится на холодный период года с ноября по март (156 мм). 73% осадков на теплый период года с апреля по октябрь (428 мм) (Орлова, 1962). Максимальное количество осадков наблюдается в сентябре – 78 мм, минимальное в феврале – 24 мм. Среднее количество дней с осадками – 200. Максимум снеготпасов приходится на апрель (154,9 мм). Максимальная высота снежного покрова составляет порядка 108 см. Средняя многолетняя высота снежного покрова не превышает 83 см при плотности  $0,26 \text{ г/см}^3$  на защищенном пространстве (Научно-прикладной..., 1990).

В течение года происходит распределение осадков на твердые (снег) и жидкие (дождь). Знание общего количества осадков и режима их выпадения, является крайне важным в разработке различных методов расчета и прогноза максимального стока дождевых паводков. В следствии не участия твердых

осадков в формировании стока в зимний период, их важнейшее значение приходится на наступление теплого периода. При быстром их таянии происходит значительное повышение водности (Закономерности..., 2002).

В распределении по территории суммы твердых осадков также достаточно четко отражаются как широтная зональность, так и высотная поясность. При этом на величине снегозапасов отражаются и большие различия в продолжительности холодного периода. В связи с этим, распределение средних сумм твердых осадков характеризуется большой неоднородностью, которая на открытых пространствах усиливается за счет ветрового перераспределения снега (Закономерности..., 2002).

Второй важный компонент уравнения водного баланса, который определяет годовой сток реки – общее испарение с поверхности речного бассейна. Исследуемая территория относится к области избыточного увлажнения и таким образом, здесь хорошо выражена связь стока с осадками (Закономерности..., 2002).

Величина общего увлажнения территории, соотношение между элементами водного баланса определяют степень влияния испарения на величину годового стока. Обычно в зонах избыточного увлажнения влияния испарения на сток не столько значительно, как в зоне недостаточно увлажнения (Закономерности..., 2002).

### 1.3. ГИДРОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Для рек данной территории характерен водный режим, характеризующийся весенне-летним половодьем (длительностью 2,5 месяца), начало которого приходится на середину мая. Максимальная водность приходится на вторую июня с ее спадом к концу июля (составляет в среднем 70% годового стока). Летне-осенняя межень начинается практически сразу после спада половодья (начало августа-середина сентября). Как правило может прерываться несколькими дождевыми паводками. Межень в таких случаях

представлена в виде непродолжительного маловодного периода (средний модуль стока 8,2 л/сек км<sup>2</sup>). С середины октября по май начинается период зимней межени (продолжительностью в среднем 210 дней) (Лезин, 2000).



Рис. 2. Гидрографическая сеть бассейна р. Тайяха [составлено автором на основе топографической карты Генерального штаба 1:100 000, Министерство картографии и геодезии]

Территория бассейна характеризуется большим количеством озер и болот, что в свою очередь также выступают в роли факторов регулирующих сток.

Плоский рельеф, низкая испаряемость, затрудненный поверхностный сток, близкое залегание водоупорных горизонтов с наличием многолетнемерзлых пород обуславливают обилие озер на данной территории.

Озера имеют незначительные площади акватории с небольшой глубиной и сглаженным рельефом дна. Зачастую относятся к речному генетическому типу, термократову и типу внутриболотных водоемов. Основу питания озер составляют – талые воды. Наличие дождевого питания, обуславливает низкую минерализацию вод. Грунтовые воды в питании озер практически не участвуют, т.к. для подавляющего числа озер подземное питание осуществляется только в летний период. Присутствующие иловые отложения, предполагают значительный возраст озер. Зимой промерзают до дна, и большую часть года продолжают находиться в подледном состоянии, что является одной из особенностью гидрологического режима озер изучаемого региона (Лезин, 1995).

Водность озер при достаточном количестве осадков и незначительной испаряемости достаточно стабильна. Самые высокие уровни отмечаются в весенний период при сходе ледяного покрова и в среднем подъеме уровней в данный период составляет около 0,5 м. Понижение уровней начинается при наступлении осеннего периода. За счет дождевых паводков могут происходить небольшие колебания уровней (Лезин, 1995).

Основная роль озер заключается в регулировании речного стока (перераспределяя его во времени и выравнивая в течение года). В озерах аккумулируется избыток стока паводков и половодий, в последствии который обратно поступает в реки, увеличивая их сток. Немаловажную роль играет заозеренность бассейна, т.к. с водного зеркала озер происходит испарение влаги (Гидрологическая роль....., , 2018).



Исследуемая территория, достаточно сильно заболочена, в следствии повышенной увлажненности территории, наличии близкого залегания к поверхности многолетнемерзлых пород и преобладающего равнинного характера рельефа. Наиболее крупные болотные массивы сосредоточены в северной части (Болотные системы..., 2001).

Средняя заболоченность данной территории около 15%. Болота приурочены к плоским депрессиям водоразделов, речным долинам и днищам спущенных озер. Преобладают плоскобугристые и бугристо-кочковатые болота, с наличием термокарстовых озер по берегам которых, располагаются низинные-осоково-сфагновые болота. Мощность торфяной залежи варьируется от 0,5 до 1,5 м (Болотные системы..., 2001).

Колебания уровней грунтовых вод на болотах обуславиваются общими закономерностями, которые свойственны всем типам болотных массивов и их отдельным участкам. Существенное повышение уровней происходит весной (в период таяния снега), затем следует постепенное их снижение, летний минимум (обычно в июле-августе), осенний рост уровней (в конце сентября - октябре) и зимний минимум (Болотные системы..., 2001).

К оценке влияния болот на величину годового стока рек следует подходить с тех же позиций, что и к оценке озер. Это влияние заключается главным образом, в естественном регулировании стока, однако в сравнении с озерами степень этого регулирования во много раз меньше, из-за специфики строения болотной толщи (Закономерности..., 2002).

Аккумулируемая мелкими озерами и деятельным слоем болот, вода медленно стекает с болотного массива, перераспределяя, регулируя сток преимущественно одного сезона. При этом часто снижается величина максимального стока рек с заболоченными водосборами, при этом степень этого снижения зависит от увлажненности деятельного слоя и высоты стояния в нем уровня болотных вод. В целом же считается, что болота несколько снижают модули максимального стока (Закономерности..., 2002).

Влияние болот на значения минимального стока несколько противоречивы. В некоторых случаях отмечается более высокий минимальный сток при большой заболоченности бассейна. Однако в большинстве случаев с сильной заболоченностью выявлена обратная картина, т.е. минимальный сток с сильно заболоченных водосборов меньше. Это объясняется особенностями водного режима болотной толщи и, в частности, весьма небольшим её деятельным слоем. С понижением уровня болотных вод сток с болотного массива может прекратиться полностью. Массив этот к концу периода межени превращается в бессточную область речного бассейна (Закономерности..., 2002).

Изложенное выше показывает, что как и при рассмотрении других факторов стока, оценивать влияние болот на речной сток следует, обязательно изучая и учитывая воздействие на него других физико-географических факторов (Закономерности..., 2002).

Таким образом, высокая степень внутригодовой зарегулированности равнинных рек зоны избыточного увлажнения обуславливается всем комплексом природных условий и прежде всего плоским рельефом, который обуславливает замедленный водообмен в пределах речных бассейнов (Закономерности..., 2002).

#### 1.4. ПОЧВЕННЫЙ И РАСТИТЕЛЬНЫЙ ПОКРОВ

Согласно почвенно-географическому районированию России, рассматриваемая территория, принадлежит Западно-Сибирской таежно-лесной области и относится к подзоне северной тайги

Своеобразие условий почвообразования исследуемой территории: избыточное атмосферное увлажнение, недостаток тепла и слабая дренированность способствуют широкому развитию в структуре почвенного покрова полугидроморфных и гидроморфных почв. Почвы характеризуются неблагоприятными водным, воздушным, тепловым режимами и условиями

снабжения питательными веществами, а также кислой реакцией среды. Учитывая особенности условий формирования почв, на территории проведения работ распространены: на дренированных участках, на песках – подзолы иллювиально-гумусовые и иллювиально-железистые; на дренированных участках, на супесях и суглинках – светлоземы иллювиально-железистые; на заболоченных участках – торфянисто-перегнойные и торфяные болотные верховые (Каретин, 1990, Хренов, 2002).

Техногенные поверхностные образования, сформированные в результате хозяйственной деятельности, представлены песчаными обнажениями в карьерах, техногенными грунтами в отсыпках транспортных и производственных объектов.

Оценивая устойчивость почв рассматриваемого участка необходимо подчеркнуть, что при минимальном техногенном воздействии, устойчивость почв чрезвычайно мала. Это обусловлено комплексом факторов природной среды северных районов. Устойчивость геосистем определяется факторами устойчивости абиотических компонентов (рельеф, горные породы, природные воды, многолетняя мерзлота, почвы), биотических компонентов (растительность, животный мир, микроорганизмы) и ассимиляционной емкостью среды (геолого-геохимические, климатические, гидрометеорологические, гидрологические, биологические и эдафические условия) (Почвы СССР, 1979).

Существенную роль в функционировании субарктических экосистем играют низкие температуры воздуха, воды, почв, распространение ММП. Это обуславливает снижение скорости метаболизма, активности биогеохимических процессов. Неоднородность снежного покрова определяет стабильность или нестабильность почвенных сообществ, сохранность верхних горизонтов почв в холодный период года (Почвы СССР, 1979).

Характер взаимодействия почвогрунтов с водой определяется их минералогическим и грунулометрическим составами, также важное значение имеет фазовое состояние воды, находящейся в толще почвогрунтов.

Важнейшим свойством почвогрунтов для гидрологических процессов является – водопроницаемость грунтов (слабоводопроницаемые грунты увеличивают поверхностный сток). Немаловажным свойство является водоудерживающая способность (при высокой водоудерживающей способности почвогрунтов большая часть проникшей в них влаги, особенно в почву, может расходоваться на испарение) (Закономерности..., 2002).

По лесорастительному районированию территория исследования относится к северотаежной подзоне, по геоботаническому районированию - к Пур-Тазовской ландшафтной провинции.

Большую часть лесопокрытой площади занимают редкостойные низкобонитетные лиственничные (*Larix sibirica*) и березовые (*Betula pendula*) леса V-Va классов бонитета, характеризующиеся небольшой сомкнутостью крон и низкой продуктивностью. В лесных сообществах хорошо выражен лишайниковый покров и травяно-кустарничковый ярус (Растительный покров..., 1985).

На дренированных участках выпуклых верховых болот встречаются единичные низкорослые березы. В качестве сопутствующих видов распространены кустарнички - хамедафна обыкновенная (*Chamaedaphne calyculata*), брусника (*Vaccinium vitis-idaea*), черника (*V. Myrtillus*), голубика (*Vaccinium uliginosum*) и клюква болотная (*Oxycoccus palustris*). В сплошном моховом покрове с проективным покрытием 90-100% доминируют сфагнумы: узколиственный (*Sphagnum angustifolium*) и магелланский (*S. Magellanicum*), с незначительным участием бурого (*S. Fuscum*) и балтийского (*S. Balticum*) (Растительный покров..., 1985).

Влияние растительного покрова, прежде всего, связано с различиями в шероховатости поверхности склонов речных бассейнов, влияющих на скорости движения воды по поверхности. Таким образом, в зависимости, от состава растительных сообществ на территории водосбора, создаются определенные условия влияющие на формирования стока (Закономерности..., 2002).

Таким образом, формирование стока на водосборе р. Тайяха, главным образом, происходит при влиянии многолетнемерзлых грунтов, значительной заболоченности и заозеренности территории. Наличие большого количества болот и озер приводит к существенной зарегулированности стока. Равнинность территории обуславливает незначительные уклоны местности, что в свою очередь способствует накоплению влаги в понижениях рельефа.

## ГЛАВА 2. ТЕОРИЯ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ТРАНСФОРМАЦИИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА

В условиях отсутствия режимной гидрологической информации для оценки трансформации стока имеет смысл применение ландшафтно-гидрологического подхода, который позволяет на основе знаний о закономерностях влияния природных и антропогенных факторов на сток, оценить степень его преобразования в количественном значении. Данная глава посвящена теоретической и методической базе ландшафтного направления в гидрологии.

### 2.1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ И СТАНОВЛЕНИЯ ЛАНДШАФТНОГО НАПРАВЛЕНИЯ В ГИДРОЛОГИИ

Разработка теоретических основ ландшафтно-гидрологического анализа основана на многолетнем опыте изучения гидрологических свойств различных геосистем, а также происходящих в последних процессов и явлений (Историко-методические...., 2014).

По мнению Короткого Л. М. и Безрукова Л. А. в географо-гидрологическом направлении традиционно объединяются: изучение географических закономерностей распределения элементов водного баланса по территориям; разработка специальных приемов использования географической информации; экспериментальная, картографическая, индикационная классификация рек и гидрологического районирования; исследования гидрологических параметров конкретных ландшафтов (Малые реки в условиях...., 1998).

Данные авторы выделяют три основных этапа развития географо-гидрологического направления: до конца 50-х гг. XX столетия, 60-70-е гг. XX столетия, современный этап.

Исследования, посвященные проблематике ландшафтно-гидрологического метода, начал в 30-е гг. XX в. В. Г. Глушков, впервые применивший комплексный подход к изучению условий формирования стока (Специфика применения..., 2013). Он сформулировал основные правила размещения пунктов гидрологических наблюдений с учетом смены ландшафтов, разработал принципы районирования, в том числе с учетом роли антропогенного фактора развития ландшафта. Наиболее важной в его работах была принципиально новая формулировка географо-гидрологического метода. В отличие от В. И. Воейкова, хотя и учитывающего физико-географические факторы, но делающего акцент на климатический аспект формирования стока. В работах В. Г. Глушкова учитываются также геолого-геоморфологические условия, почвы и растительность, т. е. речь идет о ландшафте в целом. В связи с этим главным методическим приемом является выявление взаимосвязи и вывод численных коэффициентов между гидрологическими объектами и компонентами ландшафта, а затем их изолинейное картирование. Однако данный метод не нашел широкого применения в работах того времени и был заменен односторонним статическим гидрологическим подходом, позволяющим менее точно, но более оперативно получать результат.

В данном направлении также проводили исследования В. И. Рутковский, Б. В. Поляков, Л. К. Давыдова, С. Д. Муравейский, М. И. Львович, П. С. Кузин . По результатам работ вышеперечисленных исследователей были заложены основные принципы географо-гидрологического направления.

Во время второго этапа (60-70-е гг.) главная роль отводится комплексным экспериментальным работам на малых речных бассейнах, стоковых и водно-балансовых станциях, физико-географических и отраслевых стационарах. Исследованиями, посвященными данной проблематике, занимались А. И. Субботин, Е. С. Змиева (изучение территории Подмосковья), Н. И. Коронкевич (изучение водного баланса и его изменение под влиянием антропогенной нагрузки), Г. Н. Петров (ландшафтно-гидрологическое районирование территории Среднего Поволжья), Н. А. Солнцева, И. С. Соседова (разработка

методики ландшафтно-дифференцированного анализа водного баланса). Итогом данного периода исследований можно считать сборник «Ландшафт и воды», посвященный методике исследований и особенностям водного режима в различных физико-географических условиях и монографии П. С. Кузина и В. И. Бабкина, в которой изложены принципы географо-гидрологического метода, особенности воздействия физико-географических и антропогенных факторов, гидрологические особенности природных зон и районов страны, заложены географо-гидрологические основы размещения сети наблюдений.

Третий, современный этап, отличается дальнейшим развитием географо-гидрологического направления. Во многих публикациях упор ставится на изучение начальных звеньев гидросети – малых водосборов. Исследования проводили А. Н. Антипов (расчет водного баланса биогеоценозов бассейновых и долинных геосистем — в предгорье Западного Саяна и нижнем Прииртышье), А. И. Субботин, А.С. Федоровский (выявление особенностей водных ресурсов для горных рек юга Дальнего Востока), Л.А. Безруков и другими учеными, вывели важность изучения структуры ландшафтов, поскольку она определяет репрезентативность и особенности стока малых бассейнов, и знание именно ее особенностей определяет степень экстраполяции результатов наблюдений и расчетов на большие территории. На данном этапе были проведены исследования конкретных районов СССР, произведена оценка антропогенного влияния на водные ресурсы. Сформировалось несколько групп методов изучения антропогенного воздействия на водные объекты: статистические, водно-балансовые, методы математического и физического моделирования, метод активного эксперимента. Развитие ландшафтно-гидрологического направления привело к возникновению идеи планирования ландшафтов водосбора таким образом, чтобы режим и сток рек отвечали бы своему естественному состоянию или оптимизировались.



## 2.2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛАНДШАФТНО-ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Ландшафтно-гидрологический анализ объединяет решение двух взаимообусловленных проблем. Во-первых, это оценка влияния разнообразных и взаимосвязанных природных факторов и структур на гидрологические процессы, т. е. познание гидрологической организации территории разной пространственной размерности с различными физики-географическими условиями и типом хозяйственного использования. Во-вторых, это выявление гидрологических свойств природных систем, включая средоформирующие функции водных объектов. При этом очевидна необходимость не только оценки совокупности гидрологических процессов и явлений, но и определения основных принципов их управления под конкретные цели и задачи (Ландшафтная гидрология...., 2007).

Переход от представлений о формировании гидрологических процессов и явлений в пределах речных бассейнов к их определению в границах природных систем опирается на эмпирические и индикационные методические приемы ландшафтно-гидрологического анализа. Первый подход основывается на экспериментальных данных. В этом случае репрезентативные выделы обеспечиваются соответствующими измерениями элементов водного баланса. Далее устанавливаются связи между полученными величинами и природными факторами, которые затем используются для экстраполяции на изученные природные системы (Географические аспекты...., 1981).

В основе второго подхода лежат методы гидрологической индикации и типологии. Как правило, главным аргументом расчетов изначально являются характеристики речного стока в замыкающем створе речного бассейна, а в конечном счете – стокоформирование в отдельных элементах комплексной либо отраслевой дифференциации водосбора. Следует отметить, что в итоге предполагается получить не точное, а некоторое интервальное значение оцениваемых признаков, что значительно улучшает вероятностные оценки их

связи. Данный подход наиболее целесообразен в условиях слабой изученности и дефицита материалов гидрологического изучения территории (Ландшафтная гидрология...., 2007).

Целевой функцией ландшафтно-гидрологического анализа в широком понимании является определение гидрологической организации территории или ее элементов, т. е. установление гидрологического диапазона устойчивого функционирования геосистем. В таком случае геосистемы выступают как пространственно локализованные территории реализации сложившихся водно-балансовых соотношений. При этом учитываются возможные гидрологические различия, которые исходят из типологии ландшафта (дренированность, уровень грунтовых вод, уклон, возможность формирования поверхностного или подземного стока и т. п.) (Ландшафтная гидрология...., 2007).

Таким образом, ландшафтно-гидрологические системы являются этапом трансформации природно-территориальных комплексов (ПТК) или элементарных ландшафтов в гидрологические структуры. Процедура выделения пространственных ячеек гидрологической организации на уровне частных и полных ландшафтно-гидрологических систем базируются на количественных оценках гидрологического режима ландшафтных систем с учетом индикационной роли показателей состояния геосистем и задачах пространственной интерполяции стоковых и водно-балансовых полей (Ландшафтная гидрология...., 2007).

Ландшафтно-гидрологические системы, выделенные по ряду видовых признаков (положению в рельефе, доминирующему растительному комплексу и т. п.), как гидрологические образования в своих характерных водно-балансовых соотношениях являются стокоформирующими, стокорегулирующими или аккумулялирующими (Ландшафтная гидрология...., 2007).

Оценка гидрологической организации территории закономерно является основой для разнообразных прикладных задач, прежде всего прогнозного и водно-экологического характера. В реализации прогноза вариаций гидрологических характеристик при изменении природной обстановки

выделяются краткосрочные и долгосрочные перспективы, определяемые различными изменениями подстилающей поверхности, временем восстановления ландшафта или его перехода в другое состояние, а также климатическими трендами (Ландшафтная гидрология...., 2007).

Выявление реакции ландшафтного комплекса на внешние воздействия, определение спектра стоковых характеристик и типовых диапазонов слоев и коэффициентов стока, присущих природному объекту, – одна из основных задач ландшафтно-гидрологического подхода. Изменение структуры ландшафта – это конкретный сигнал об изменении его трансформирующих функции и основа прогноза вариаций гидрологических характеристик территории. Если такая тенденция обозначилась, то очевидны и перестройка гидрологических функций ландшафта, и перераспределение расходных составляющих водного баланса территории, а в пространственном смысле – изменение гидрологической организации территории (Ландшафтная гидрология...., 2007).

Ключевое понятие ландшафтно-гидрологического анализа – гидрологическая функция ландшафта, под которой подразумевается процесс водоотдачи с единицы площади (объемы, модули, слои, коэффициенты и интенсивность стока), а также формируемое воды (химический состав). Рассмотрение гидрологического цикла как причинно-следственного водно-балансового явления предполагает разделение понятий «свойство» и «функция» геосистемы (Ландшафтная гидрология...., 2007).

Свойство – это характеристика внутреннего состояния ландшафта, обладающей своими специфическими чертами, позволяющими отличать природные комплексы один от другого, т. е. те параметры, которые при поступлении внешнего сигнала обуславливают ее трансформация (осадки – водоотдача). Поэтому большинство гидрофизических параметров являются показателями свойств, присущих ландшафту (почвенные константы, структура рельефа, растительный покров и т. п.), но не ориентированных относительно внешнего объекта (Ландшафтная гидрология...., 2007).

Гидрологическая функция ландшафта – это качественные и (или) количественные характеристики стока, т. е. учет всех взаимодействий, в том числе локальных параметров процесса влагооборота. Насколько все возможные взаимодействия реализованы в конкретную фазу стока, зависит от свойств геосистемы и характеристики внешнего сигнала. Причем ландшафт рассматривается как единый цельный объект, сохраняющий весь спектр реакций и внутренних связей, работающих при определенных условиях. Геосистема в данном случае выступает в роли определенного звена, осуществляющего трансформацию входного сигнала, и характеризуется своей индивидуальной передаточной функцией (Ландшафтная гидрология..., 2007).

Ландшафтно-гидрологический анализ позволяет отойти от количественной оценки связей в геосистеме, что может быть альтернативой физико-математическим моделям стокоформирования, в полной мере зависящим от достоверности параметризации. Даже исключая из рассмотрения многочисленные параметры бассейновой системы или ее морфологических участков, можно достаточно просто и надежно оценить искомые гидрологические функции ландшафтов, а по их количественным оценкам дополнительно провести исследования связей в ландшафтно-гидрологическом комплексе для конкретных наборов зональных и аazonальных факторов стока. При этом факторы рассматриваются не только как совокупность переменных, но и как набор некоторых комплексных характеристик, отражающие основные черты суперпозиции влияющих процессов (Ландшафтная гидрология..., 2007).

Наиболее важными в определении гидрологических характеристик ландшафтного комплекса представляются формирование поверхностной составляющей стока и наличие условий пополнения подземных влагозапасов. Динамика последних и возможности дренирования русловой сетью определяют трудности расчетов стока на основе ландшафтной информации. Это уже бассейновые эффекты, связанные с трехмерным характером бассейна стока и его ячеек, т. е. он формируется по пути к дрене поэтапно, в определенной мере

сохраняя на участке ландшафтного комплекса индивидуальные черты (Ландшафтная гидрология....., 2007).

### 2.3. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ТРАНСФОРМАЦИИ СТОКА ПРИ ЛАНДШАФТНО-ГИДРОЛОГИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ

В основу расчетной схемы положен географо-гидрологический метод (ландшафтно-гидрологический метод), главным постулатом которого является представление структуры речного водосбора как сочетание различных ландшафтов, характеризующимися однородными условиями стока.

Расчеты включают несколько этапов. На первом этапе осуществляется подготовка данных: определение границ водосбора, построение карты уклонов, карты землепользования и почвенной карты. Построение карт выполняется с применением программного обеспечения ArcGIS. В основу картографической основы положены материалы топографических карт, данные дистанционного зондирования земли и цифровая модель рельефа ALOS.

На основании сопряженного анализа данных карт составляется карта стокоформирующих комплексов (СФК). Для каждого контура определяются количественные характеристики: площадь, уклон, уровень грунтовых вод, водно-физические свойства почвы.

Второй этап предполагает определение и расчет метеорологических данных: осадков и максимально возможного испарения для всего водосбора в целом, снегозапасов, глубины промерзания и влажности почвы в период снеготаяния для каждого СФК.

Определение влажности активного слоя почвы в период снеготаяния выполняется методом ГРК.

$$W_c = V_c * HB \quad (1)$$

$$V_c = \left( \frac{\frac{KX}{HB} + V_1}{\frac{Z_m}{HB} + V_1^{1-r}} \right)^{1/r} \quad (2)$$

$$V_2 = V_1 \left( \frac{V_c}{V_1} \right)^r \quad (3)$$

где  $W_c$  – влагозапасы активного слоя почвы, мм;

$V_c, V_1, V_2$  – начальная, конечная и средняя в расчетном периоде влажность активного слоя в долях наименьшей;

$KX$  – осадки, исправленные на недочет осадкомерными приборами, мм;

$Z_m$  – максимально возможное испарение, мм;

$НВ$  – наименьшая влагоемкость активного слоя почвы, мм;

$r$  – параметр, зависящий от воднофизических свойств почвы.

На основе данных формул разработано программное обеспечение VIS.

Расчет производится по месячным интервалам каждого расчетного года, начиная с 1 мая до 31 октября. Зимние месяцы с ноября по март и апрель объединяются в один расчетный период. Таким образом, в году получается 7 расчетных циклов.

Для каждого цикла из климатологических справочников по ближайшей метеостанции выписываются месячные осадки, которые исправляются поправками  $K_1, K_2, K_3$ .

Величина максимально возможного испарения сначала рассчитывается в целом за год по формуле (2.4), а затем распределяется по месяцам пропорционально среднемесячному дефициту влажности воздуха.

$$Z_{m,r} = 5,12 \sum_{IV}^X t + 306 \quad (4)$$

где  $Z_{m,r}$  – годовая величина максимально возможного испарения, мм;

$\sum_{IV}^X t$  – сумма среднемесячных температур за период апрель-октябрь;

Для всех пойменных контуров значение влагозапасов активного слоя почвы исправляется по формуле:

$$W = ПВ \left[ 1 - \frac{1 - \frac{W_c}{ПВ}}{\sqrt[3]{1 + \left( \frac{h_m + h_v}{2h} \right)^6}} \right]^{0,72} \quad (5)$$

где  $W$  – исправленное значение влажности почвы, мм;

$PВ$  – полная влагоемкость активного слоя почвы, мм;

$W_c$  – влагозапасы активного слоя почвы, рассчитанные по формулам (1-3);

$h_m$  – мощность активного слоя, принимается равно 1 м;

$h$  – уровень грунтовых вод, принимается равно 1 м.

$$h_v = h_{KK}(2 - V_c)^{1,5} \quad (6)$$

где  $h_{KK}$  – высота капиллярной каймы, м;

Вычисляются значения  $\frac{W-MГ}{PВ-MГ}$  для каждого СФК. При этом, для лесных комплексов производится перерасчет по формуле:

$$\left(\frac{W - MГ}{PВ - MГ}\right)_{ЛЕС} = 0,6 \left(\frac{W - MГ}{PВ - MГ}\right)_{ПОЛЕ} + 0,4 \quad (7)$$

Значения снегозапасов определяются по данным ближайшей метеостанции для каждого года расчетного периода.

Для болотных СФК запасы воды в снеге на начало снеготаяния определяются по формуле:

$$h_6 = CX_{(XI-III)} \quad (8)$$

где  $h_6$  – запасы воды в снеге на целинном и осушенном болоте, мм;

$X_{(XI-III)}$  – сумма осадков холодного периода (ноябрь-март) без поправки на ветровой недочет, мм;

$C$  – угловой коэффициент связи, равный для целинных болот  $C=1,32$ , для осушенных  $C=0,84$ .

Для лесных комплексов значение максимальной глубины промерзания определяется по формуле:

$$h_{пр(л)} = 0,6h_{пр(п)} - 0,07 \quad (9)$$

где  $h_{пр(л)}$  – глубина промерзания почвы в лесу, м;

$h_{пр(п)}$  – глубина промерзания почвы в поле, определенная по данным метеостанции, м;

Для луговых СФК используется формула:

$$h_{\text{пр(луг)}} = 0,72h_{\text{пр(п)}} \quad (10)$$

где  $h_{\text{пр(луг)}}$  – глубина промерзания почвы на луговых СФК, м;

Третий этап заключается в компьютерных расчетах по соответствующим программам величины весеннего стока для СФК и всего водосбора в целом. При этом рассматривается два случая: расчет при наличии данных о стоке в замыкающем створе и при отсутствии таковых (Ландшафтно-гидрологический..., 1999 ).

Величина весеннего стока с каждого СФК водосбора определяется по двум формулам: для суходольных и для болотных СФК.

Формула для незаболоченных контуров:

$$y_c = \frac{ax}{\sqrt[3]{1 + \left[\frac{\text{ПВ}-\text{МГ}}{b(W-\text{МГ})}\right]^{3m}}} \quad (11)$$

Формула для заболоченных контуров (торфяников):

$$y_6 = x \left[ a - (a - n_c) \left[ 1 + \left( 3,7 \frac{h}{h_{\text{кр}}} \right) \right]^{-1/3} \right] \quad (12)$$

где  $y_c, y_6$  – сток с суходольных и заболоченных контуров, мм;

$x$  – снеготпасы на конец зимы, мм;

ПВ, МГ – полная влагоемкость и максимальная гигроскопичность активного слоя почвы, мм;

$h$  – средний уровень грунтовых вод за период весеннего стока, мм;

$h_{\text{кр}}$  – критический уровень грунтовых вод, когда прекращается их заметное влияние на влагозапасы активного слоя почвы, м;

$a, b, m, n_c$  – числовые параметры.

По данным формулам (11-12) было создано программное обеспечение SWS-5, которое позволяет в автоматическом режиме получить необходимые расчетные параметры.

Значения числовых параметров определяются по следующим формулам:



$$a = 1 - \frac{q \exp[-0,027i]}{\sqrt[3]{1 + \left(\frac{30}{F}\right)^3}} \quad (13)$$

$$n_c = \frac{a}{\sqrt[3]{1 + \left[b \frac{W_c - M\Gamma}{ПВ - M\Gamma}\right]^{-3m}}} \quad (14)$$

$$b = b_T + \frac{b_{кр} - b_T}{\sqrt[3]{\left(\frac{1}{1-p}\right)^3 + \left(\frac{f}{ch_{ПР}}\right)^{3v}}} + \frac{b_{кр} + b_T}{\sqrt[3]{\frac{1}{p^3} + \left(\frac{fp}{h_{ПР}}\right)^3}} \quad (15)$$

$$m = \frac{1,56}{(b - 1)^{0,52}} \quad (16)$$

$$b_{кр} = 1 + \frac{0,25}{\sqrt{K_\phi}} \quad (17)$$

$$p = \frac{1}{\sqrt[3]{1 + \left[\frac{2}{b_{кр} - 1}\right]^7}} \quad (18)$$

$$c = 1 + 0,85K_\phi \quad (19)$$

$$V = 13,3(b_{кр} - 1)^{1,77} \quad (20)$$

где  $i$  – уклон СФК, %;

$F$  – площадь СФК, км<sup>2</sup>;

$W_c$  – влагозапасы активного слоя почвы при отсутствии влияния грунтовых вод для полевых участков, мм;

$h_{ПР}$  – глубина промерзания почвы перед снеготаянием, мм;

$K_\phi$  – средний коэффициент фильтрации активного слоя почвы, м/сут.

Параметры  $b_t$  – и  $f$  для условий болот и суходолов рассчитываются по разным формулам.

Для условий суходольных СФК:

$$b_{т.с} = 1 + 0,29(b_{кр} - 1)^{1,58} \quad (21)$$

$$f_c = 0,80 - \frac{0,64}{\left[1 + \left(\frac{0,85}{b_{кр} - 1}\right)^{1,6}\right]^{0,625}} \quad (22)$$

Для условий заболоченных СФК:

$$b_{т.б} = 1 + (b_{кр} - 1)^{3,75} \quad (23)$$

$$f_{\text{Б}} = 1 - \frac{0,46}{\left[1 + \left(\frac{0,85}{b_{\text{КР}} - 1}\right)^{1,6}\right]^{0,625}} \quad (24)$$

Годовой сток рассчитывается по формуле:

$$y_{\text{Г}} = ay_{\text{В}} + b \quad (25)$$

где  $y_{\text{В}}$  – слой весеннего стока;  $a, b$  – числовые параметры.

Исходя из особенностей расположения территории исследования, отсутствия режимных гидрологических наблюдений единственным методом количественной оценки преобразования стока является ландшафтно-гидрологический анализ водосборов, основанный на знании закономерностей влияния природных и антропогенных факторов на сток

### ГЛАВА 3. ТРАНСФОРМАЦИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ НАРУШЕННОСТИ ВОДОСБОРА

Количественная оценка трансформации гидрологического режима малых рек нефтегазодобывающих регионов является важным аспектом отслеживания влияния техногенного рельефообразования на водосборный бассейн. В представленной главе изучены и классифицированы антропогенные образования на территории бассейна р. Тайяха, получены и проанализированы количественные показатели стока за разновременной период.

#### 3.1. ВИДЫ АНТРОПОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ РАЙОНАХ

Формирование техногенных форм рельефа в нефтегазодобывающих районах Западной Сибири непосредственно связано с этапом освоения месторождений.

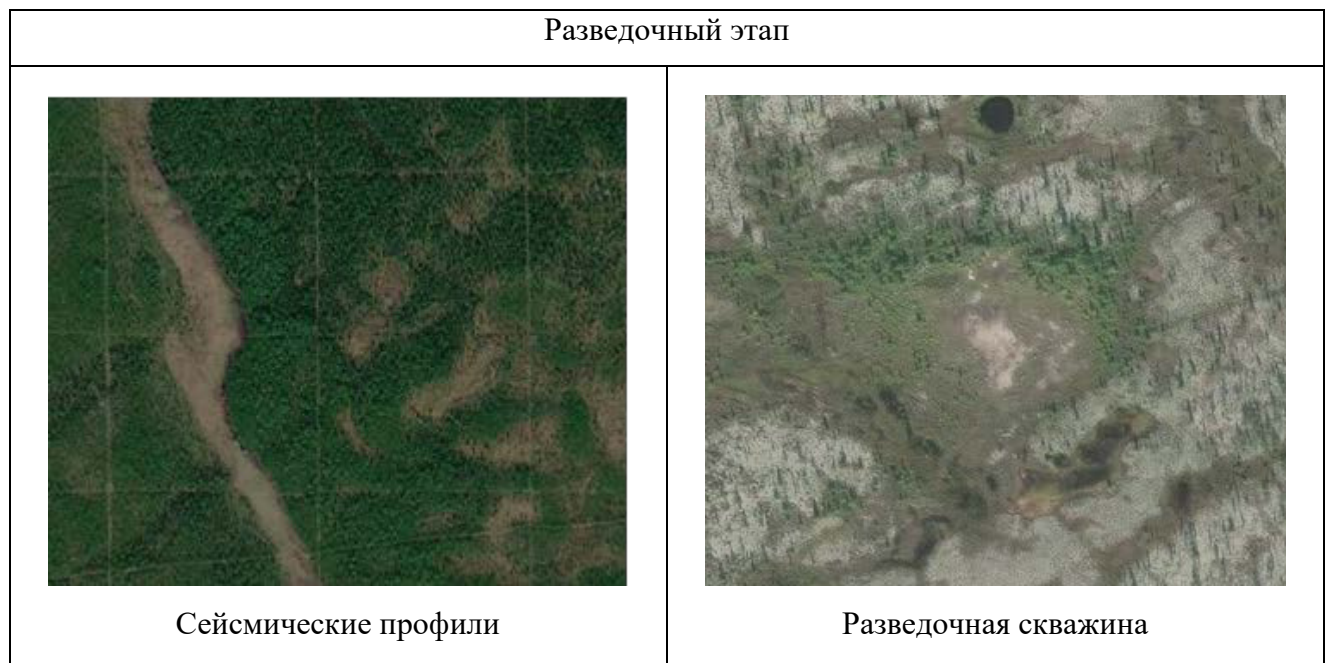


Рис. 3. Техногенные формы рельефа характерные для разведочного этапа [составлено автором по данным сервиса ESRI ArcGIS. Imagery]

В настоящее время существует несколько подходов к классификации этапов освоения месторождений. Основываясь на классификации Соромотина А. В., можно выделить четыре этапа: разведочный, строительный, добывающий и ликвидационный. На каждом из этапов происходят различные по характеру и объему техногенные преобразования территорий.

На разведочном этапе осуществляется сейсморазведка и строительство (бурение) разведочных скважин. Прокладываются сейсмопрофили, отсыпаются площадки под строительство скважин. Техногенные формы рельефа на данном этапе носят локальный характер и еще не происходит повсеместных нарушений природных ландшафтов.



Рис. 4. Техногенные формы рельефа характерные для этапа строительства [составлено автором по данным сервиса ESRI ArcGIS. Imagery]

На этапе строительства осуществляется создание всей необходимой инфраструктуры для добычи сырья, тем самым данный этап является самым масштабным.

Наибольшее влияние связано с отчуждением значительных площадей земельных ресурсов, причем в большей степени за счет изъятия земель лесного фонда. При этом максимальное воздействие оказывается именно в период строительства скважин и технологических объектов нефтегазодобычи.

Характерной особенностью обустройства нефтегазовых месторождений в Западной-Сибири является совместное строительство коридоров коммуникаций — автодорог, ЛЭП и трубопроводов, что, с одной стороны, приводит к концентрации объектов воздействия, а с другой — позволяет более экономно использовать земельные ресурсы. Особенности воздействия во многом определяются пространственной конфигурацией объектов нефтедобычи. По этому признаку все объекты делятся на линейные и площадные.

К линейным относятся объекты, протяженность которых в сотни и тысячи раз превосходит их ширину: автодороги и железные дороги, ЛЭП и линии связи, трубопроводы различного назначения (нефтепроводы, водоводы, газопроводы, продуктопроводы и пр.) (Соромотин, 2010).

К площадным относятся объекты обустройства месторождений, имеющие соразмерные значения длины и ширины: производственные объекты сбора и подготовки нефти и газа (ДНС, КНС, ЦППН, УПСВ, УКПГ, ГПЗ, факельные хозяйства и пр.), жилые поселки, сухоройные и гидронамывные карьеры, нефтегазодобывающие кусты скважин и одиночные скважины, буровые площадки промыслового бурения, полигоны производственных и бытовых отходов (свалки). Основную часть отводимых для нужд нефтедобычи площадей занимают линейные сооружения.

В результате строительства инфраструктуры месторождения происходят значительные нарушения природных территориальных комплексов. Сокращаются площади лесов, нарушается гидрологический режим почв (затопление, подтопление), повреждается растительный и почвенный покров.

Под этапом добычи подразумевается технологический процесс добычи жидкостей на поверхность (нефти, конденсата, воды) и газа из пласта на поверхность (Правила разработки..., 1987). Характерной особенностью эксплуатации месторождений Западной Сибири является, то, что одновременно с добычей нефти происходят доразведка и дообустройство территорий промыслов, т. е. природные комплексы в районах нефтедобычи постоянно

подвергаются всему комплексу техногенных воздействий, обусловленных освоением ресурсов недр.

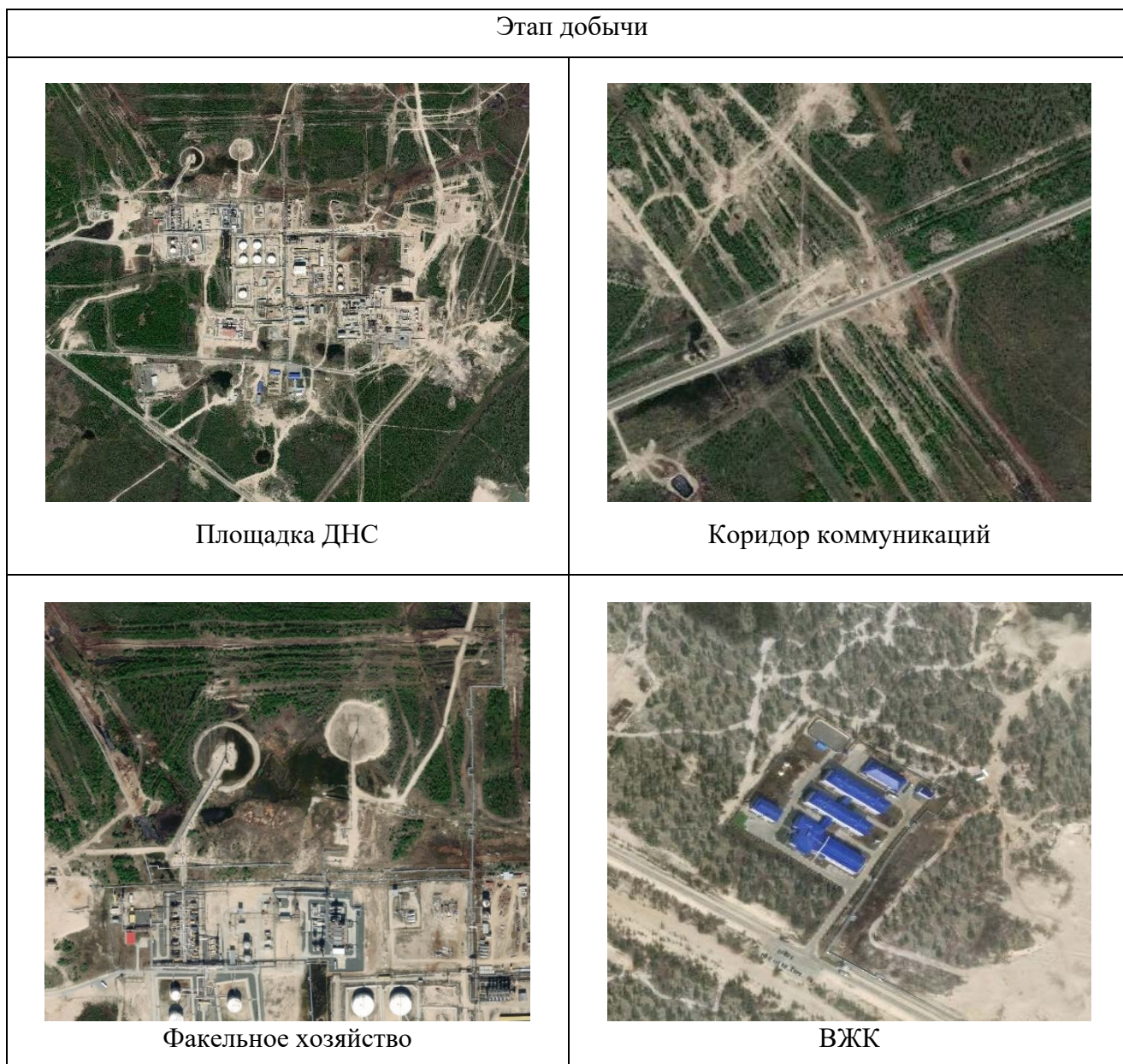


Рис. 5. Техногенные формы рельефа характерные для этапа добычи [составлено автором по данным сервиса ESRI ArcGIS. Imagery]

На этапе ликвидации месторождение снимается с баланса, скважины выводятся из эксплуатации, консервируются или ликвидируются. Результаты исследования Соромотина А. В. показали, что самовосстановления растительности в средне- и южнотаежных лесах идут успешно. Количество подроста хвойных пород (ель, сосна) достигало на некоторых участках буровых площадок 100 тыс. шт. К 30-35 годам древостой формируется по всей

площадке. Территории нефтебаз практически полностью зарастают травянистой и кустарниковой растительностью сразу после завершения эксплуатации.



Рис. 6. Техногенные формы рельефа характерные для этапа ликвидации [составлено автором по данным сервиса ESRI ArcGIS. Imagery]

### 3.2. ТЕХНОГЕННЫЕ ФОРМЫ РЕЛЬЕФА НА ВОДОСБОРЕ Р. ТАЙЯХА

Территория водосбора р. Тайяха расположена на Восточно-Таркосалинском месторождении, что связывает трансформацию ландшафтных условий непосредственно с этапами освоения месторождения. Для объективности классификации этапов освоения были проанализированы фондовые материалы и результаты космической съемки за период с 1973 по 2020 год (Рис. 7-9).

Восточно-Таркосалинское месторождение было открыто в 1971 г. и введено в промышленную разработку в 1998 году. По степени промышленной освоенности месторождение относится к классу разрабатываемых (ПАО НОВАТЭК).

Наибольшая активность строительства инфраструктуры пришлась на 1994-2001 гг. В данный период, были построены большинство объектов, связанные с добычей нефти и газа. По данным ПАО «НОВАТЭК» добыча нефти на месторождении ведется с 1994 г., добыча газа – с 1998 г, добыча конденсата – с 2001 г. На данный момент месторождение продолжает развиваться, в эксплуатацию вводятся новые объекты инфраструктуры (ДНС, ДКС), увеличиваются мощности старых установок. Перспективные планы по дальнейшему развитию месторождения ориентированы на разработку нефтяных залежей в северной части лицензионного участка (Нефтегаз.ру).

Таким образом, можно выделить 3 этапа освоения Восточно-Таркосалинского месторождения, каждый из которых оказывает собственное влияние на трансформацию ландшафтно-гидрологических условий.

- Разведочный этап – с 1971 по 1994 г.
- Этап строительства – с 1994 по 2001 г.
- Этап добычи – с 2001 г. по настоящее время.



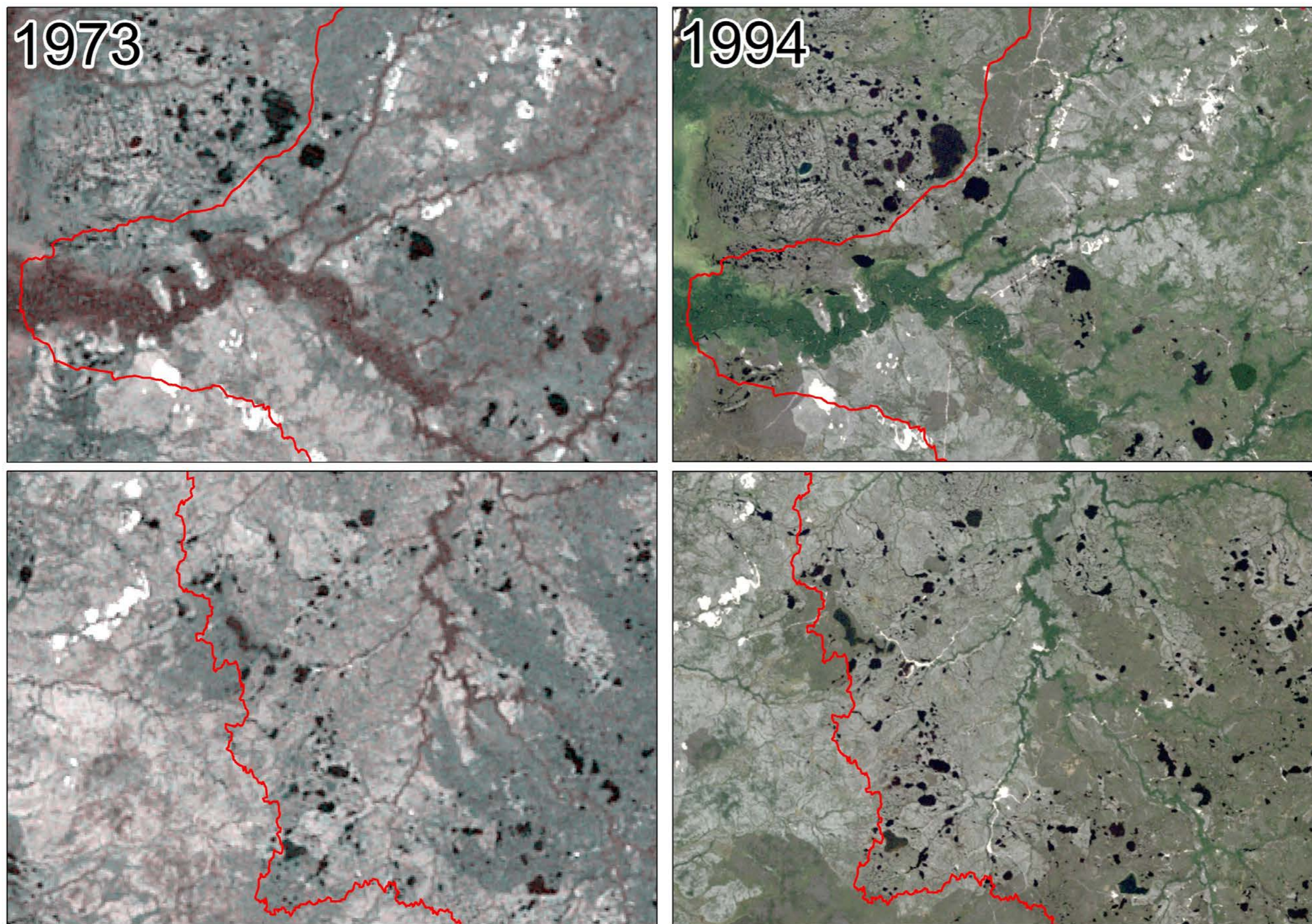


Рис. 7. Сравнительные материалы космической съемки за 1973 и 1994 гг. (разведочный этап) [составлено автором по данным сервиса <https://earthexplorer.usgs.gov>, данные со спутника LANDSAT]

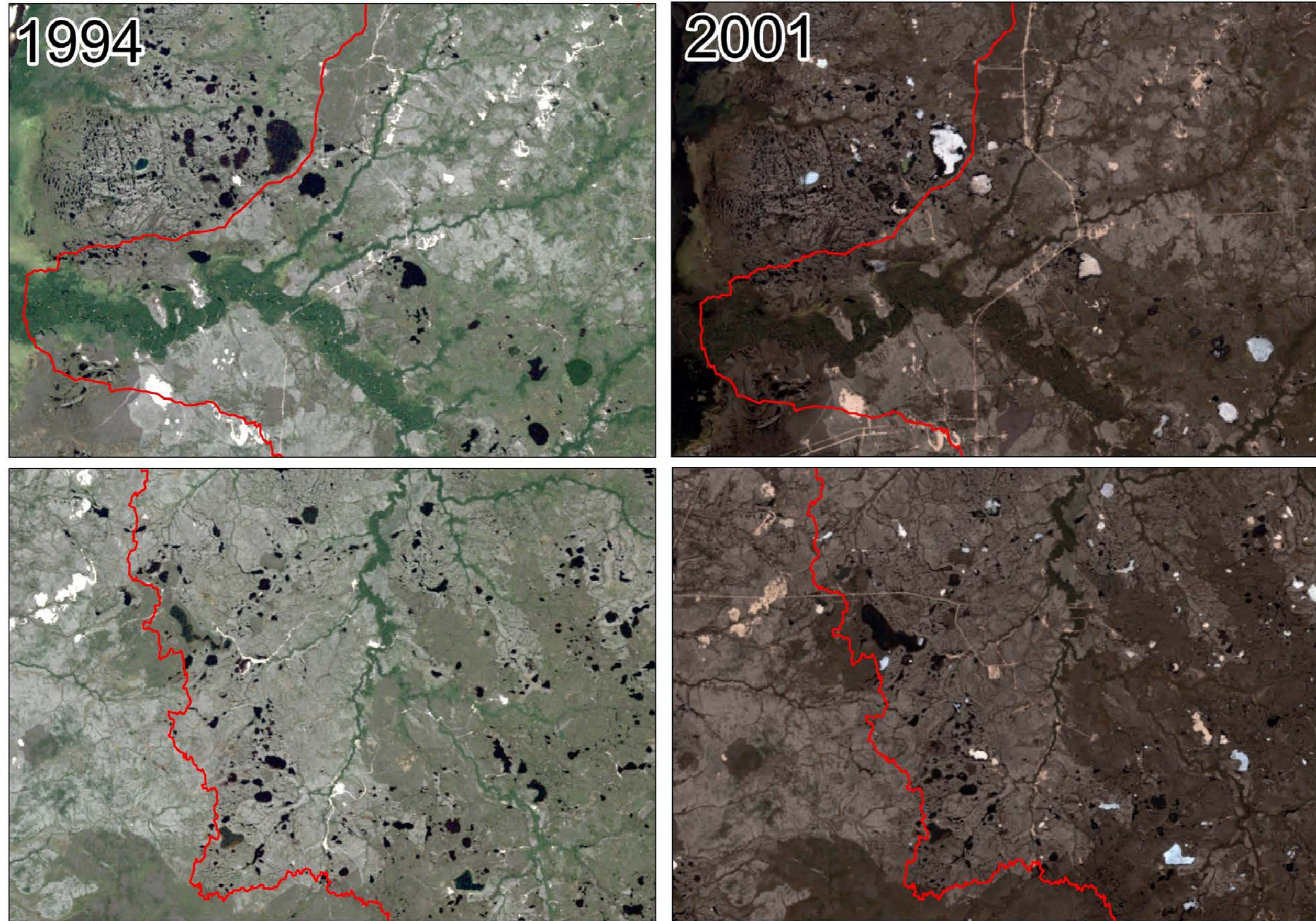


Рис. 8. Сравнительные материалы космической съемки за 1994 и 2001 гг. [этап строительства] (составлено автором по данным сервиса <https://earthexplorer.usgs.gov>, данные со спутника LANDSAT)

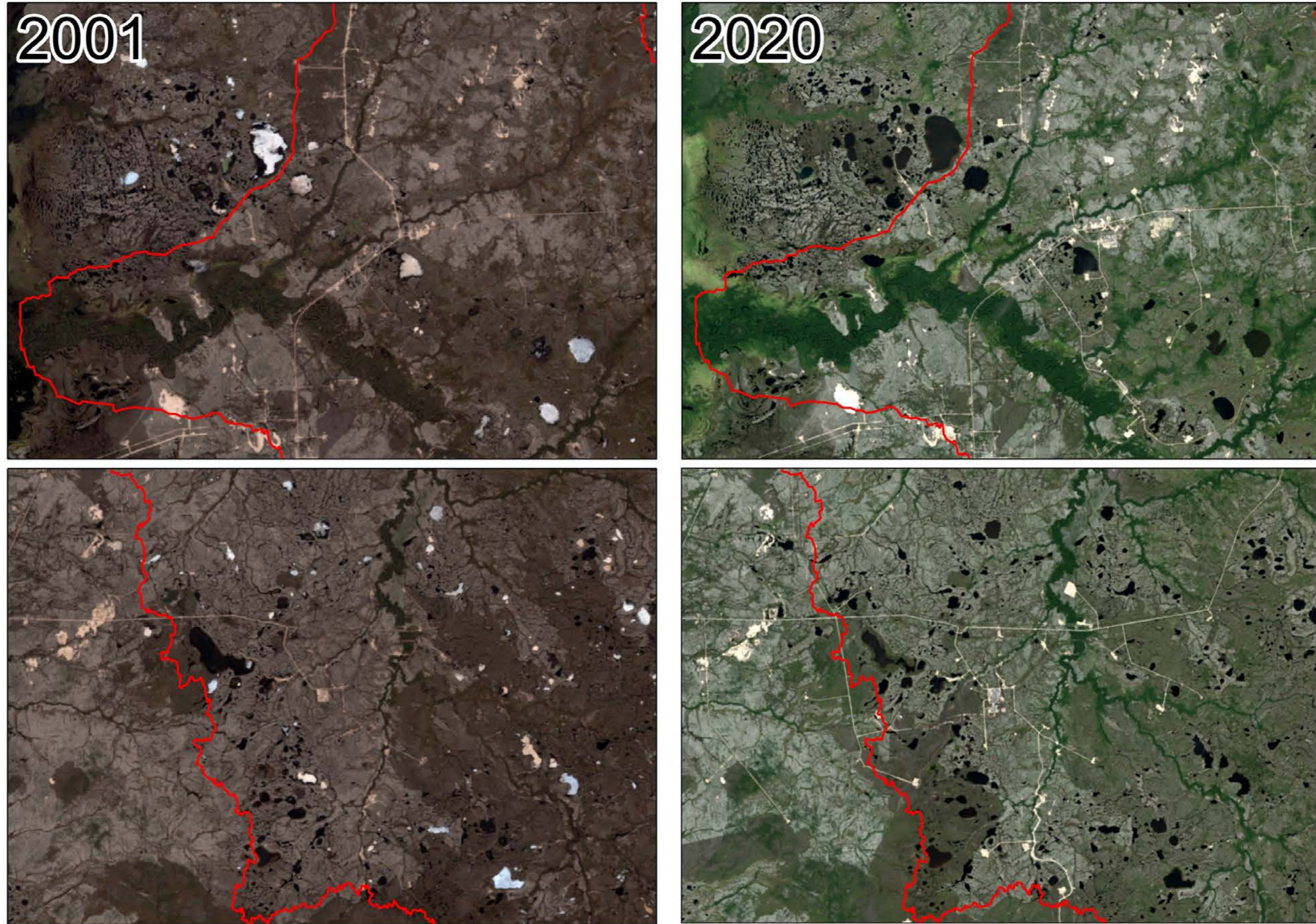


Рис. 9. Сравнительные материалы космической съемки за 2001 и 2020 гг. (этап добычи) [составлено автором по данным сервиса <https://earthexplorer.usgs.gov>, данные со спутника LANDSAT]

Исходя из анализа фондовых источников и на основе дешифрирования материалов дистанционного зондирования была разработана классификация техногенных форм рельефа водосбора р. Тайяха. Посчитаны морфометрические характеристики каждого типа ТФР (Таблица 1) и приведены фрагменты космоснимков (Рис. 10-12).



Рис. 10. Сеть техногенных объектов в верхнем течении р. Тайяха (кустовые площадки, промышленные базы, автодороги) [составлено автором по данным сервиса ESRI ArcGIS.

Imagery]



Рис. 11. Карьер грунта на водосборе р. Тайяха [составлено автором по данным сервиса ESRI ArcGIS. Imagery]



Рис. 12. Площадка УКПГ на водосборе р. Тайяха [составлено автором по данным сервиса ESRI ArcGIS. Imagery]

Таблица 1

Техногенные формы рельефа на территории водосбора р. Тайяха  
[составлено автором]

№	Техногенные формы рельефа	F, км <sup>2</sup>
Типы линейных объектов		
1	Автомобильные дороги (без покрытия)	3,97
2	Автомобильные дороги (с твердым покрытием)	0,56
3	Внедорожные проезды техники (лесные проезды, зимники) на песчаных почвах	0,17
4	Внедорожные проезды техники (лесные проезды, зимники) на торфяных почвах	0,2
5	Коридоры коммуникаций (трубопроводы, ЛЭП) на песчаном почвах	4
6	Коридоры коммуникаций (трубопроводы, ЛЭП) на торфяных почвах	10,66
Типы площадных объектов		
1	Насыпи кустовых площадок, разведочных скважин и прочих добывающих сооружений	10,34
2	Насыпки грунта под жилые и промышленные сооружения (УКПГ, ДНС, ВЖК и т.д.)	4,82
3	Карьеры грунта	8,58

№	Техногенные формы рельефа	F, км <sup>2</sup>
4	Подтопленные участки	0,265
Сумма техногенных преобразований		43,3

Результаты дистанционного зондирования показали, что наиболее распространенными техногенными формами рельефа на территории водосбора р. Тайяха являются песчаные насыпи оснований кустовых площадок, промышленных баз и автодорог, площадь которых на момент этапа добычи составляет 19,69 км<sup>2</sup> (3% от площади водосбора). На данных формах рельефа полностью отсутствует растительность и существенно нарушен гидрологический режим, вследствие чего изменены факторы формирования стока. Общая площадь антропогенно нарушенных участков составляет 43,3 км<sup>2</sup> (7% от площади водосбора). Широкое распространение на территории водосбора получили эоловые процессы (дефляция) – 12,51 км<sup>2</sup> (2% от площади водосбора).

### 3.3. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ТРАНСФОРМАЦИИ СТОКА ПОД ВЛИЯНИЕМ ТЕХНОГЕННЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА НА РАЗНЫХ ЭТАПАХ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

На первом этапе проводилось построение серии карт необходимых для применения методов оценки при ландшафтно-гидрологическом подходе. Выделение водосбора и построение карты уклонов осуществлялось с использованием цифровой модели рельефа ALOS и топографических карт для уточнения границ. Площадь водосбора составила – 626,4 км<sup>2</sup>. Водосбор имеет вытянутую овальную форму, которая свидетельствует о более равномерных поступлениях воды с притоков, что приводит к формированию высоких пиков. Уклоны изменяются от 0 до 24,27%, преобладают же на большей части водосбора уклоны от 0 до 9,46% (в силу равнинности рельефа) и отчетливо прослеживаются надпойменные террасы.

Построение карт почвенного покрова и стокоформирующих комплексов производилось на основе анализа фондовых материалов, почвенной и растительной карты ЯНАО, а также с использованием материалов космической съемки. Таким образом, на территории водосбора было выделено 3 типа почв и 5 видов СФК.

Аллювиально-дерновые почвы в пределах водосбора встречаются вдоль рек и частично на возвышенных участках. Иллювиально-железисто гумусовые светлоземы широко представлены в верхней части водосбора и в верхнем течении р. Тайяха. Торфяные верховые почвы представлены повсеместно на территории водосбора, вследствие его высокой заболоченности и занимают самую большую площадь среди всех типов почв.

На формирование речного стока существенную роль оказывает механический состав почв, что в свою очередь определяет водно-физические свойства.

Таблица 2

Водно-физические свойства почв водосбора р. Тайяха [составлено автором]

Тип почв	Механический состав	ПВ, % от объема	НВ, % от объема	МГ, % от объема	Параметр, г
Аллювиально-дерновые	Песчаные	45,5	27,7	8,2	1,6
Иллювиально-железисто гумусовые светлоземы	Песчаные	45,5	27,7	8,2	1,6
Торфяные верховые	Торф	95	60	20	3

Водосбор р. Тайяха представлен пятью видами стокоформирующих комплексов:

1. Плоская, хорошо дренированная надпойменная терраса, покрытая сосново-еловыми с примесью кедра лесами на аллювиальных дерновых почвах. Общая площадь приуроченного к долине р. Тайяха данного комплекса составляет 154,91 км<sup>2</sup>, уклон поверхности изменяется от 0,7 до 1,5%.

2. Плоская равнина, покрытая березовыми лесами на иллювиально-железисто гумусовых светлоземах. Площадь данного комплекса составляет 20,2 км<sup>2</sup>, уклон поверхности изменяется от 0,5 до 1,1%.

3. Плоская, пологоволнистая, дренированная равнина, покрытая березово-кедровыми сообществами на иллювиально-железисто гумусовых светлосемах. Общая площадь составляет 28,89 км<sup>2</sup>, уклон поверхности изменяется от 0,42 до 0,95%.

4. Плоская, заозеренная, заболоченная, местами слабо дренированная равнина с кустарничково-лишайниково-моховыми комплексными болотами на торфяных верховых почвах. Является самым обширным стокоформирующим комплексом на территории бассейна, площадью 409,9 км<sup>2</sup>, со средним уклоном от 0,81 %.

5. Эоловые пески без растительности (средний уклон 0,83%).

На следующем этапе выполнялся расчет всех количественных характеристик стокоформирующих комплексов необходимых для дальнейших расчетов с применением ландшафтно-гидрологического подхода. В основу расчета метеоданных положен период с 2004 по 2019 год на основе данных метеостанции – г. Тарко-Сале. Были выписаны среднемесячные данные по температуре, осадкам и дефициту влажности воздуха. По формуле 2.4 были вычислены и распределены по месяцам внутри года пропорционально месячным значениям дефицита влажности воздуха годовые значения максимально возможного испарения (Таблица 3).

Таблица 3

Расчет максимально возможного испарения и данные для расчета  $V_c$   
(метеостанция – г. Тарко-Сале) [составлено автором]

Период	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI-IV
Zm, мм	49,19	133,38	158,34	71,94	40,05	13,41	57,55
d - дефицит влажности воздуха	2,37	6,51	7,84	3,52	1,95	0,65	2,76
Температура воздуха, С <sup>0</sup>	1,04	13,58	17,33	12,34	6,73	-2,66	-98,75
Kx, мм	40,86	62,49	60,76	83,30	62,53	80,61	330,44

Расчет величины  $V_c$  (Таблица 4) производится для каждого СФК с одинаковыми значениями осадков (Kx) и максимально возможного испарения (Zm) в программе VIK. Значения снегозапасов и глубина промерзания были



определены на основе анализов данных метеостанции – г. Тарко-Сале. В таблице 4 представлены метеоданные водосбора р. Тайяха.

Таблица 4

Распределение средней влажности активного слоя почвы в долях наименьшей влагоемкости [составлено автором]

№ СФК	1	2	3	4
V <sub>c</sub> % от НВ	3	3	3	1,79

Таблица 5

Метеоданные водосбора р. Тайяха (метеостанция – г. Тарко-Сале)  
[составлено автором]

№ СФК	Метеоданные		
	Влагозапасы, мм	Снегозапасы, мм	Глубина промерзания, м
1	2,01	159,4	2,2
2	2,01	159,4	2,2
3	2,01	159,4	2,2
4	1,16	159,4	0,5

Полученные данные заносились в программу для расчетов весеннего стока SWS-5. Данные необходимые для расчета представлены в таблицы 5. Расчет годового стока производился по формуле 2.25.

Таблица 6

Распределение весеннего и годового стока в пределах бассейна р. Тайяха (естественное состояние водосбора) [составлено автором]

№ СФК	Название СФК	Площадь, км <sup>2</sup>	Уклон, %	Весенний сток, мм	Годовой сток, мм
1	Плоская, хорошо дренированная надпойменная терраса, покрытая сосново-еловыми с примесью кедра лесами на аллювиальных дерновых почвах	154,91	1,12	114,0	136,6
2	Плоская равнина, покрытая березовыми лесами на иллювиально-железисто гумусовых светлосемах	20,2	0,92	131,2	156,7
3	Плоская, пологоволнистая, дренированная равнина, покрытая березово-кедровыми сообществами на иллювиально-железисто гумусовых светлосемах	28,89	0,81	123,7	147,9
4	Плоская, заозеренная, заболоченная, местами слабо дренированная равнина с кустарничково-лишайниково-моховыми	409,9	0,78	113,5	136,0

№ СФК	Название СФК	Площадь, км <sup>2</sup>	Уклон, %	Весенний сток, мм	Годовой сток, мм
	комплексными болотами на торфяных верховых почвах				
5	Эоловые пески без растительности	12,51	0,83	140,7	167,8
Общая площадь бассейна и суммарный слой весеннего и годового стока		626,4		115,2	138,0

Полученные результаты расчета распределения весеннего и годового стока (Табл. 6) свидетельствуют о том, что наибольшее водный сток формируется на эоловых песках (без растительности) (весенний – 140,7 мм, годовой – 167,8 мм). Наименьший сток формируется на плоской, заозеренная, заболоченная, местами слабо дренированная равнина с кустарничково-лишайниково-моховыми комплексными болотами на торфяных верховых почвах (весенний – 113,5 мм, годовой 136 мм). Общий весенний сток в замыкающем створе бассейна р. Тайяха равен 115,2 мм, годовой – 138,0 мм. Объем стока составил – 86 258 849 м<sup>3</sup>.

Таблица 7

Распределение весеннего и годового стока в пределах бассейна р.

Тайяха (с учетом антропогенной нагрузки на момент этапа строительства) [составлено автором]

№ СФК	Название СФК	Площадь, км <sup>2</sup>	Уклон, %	Весенний сток, мм	Годовой сток, мм
1	Плоская, хорошо дренированная надпойменная терраса, покрытая сосново-еловыми с примесью кедра лесами на аллювиальных дерновых почвах	154,91	1,12	114	136,6
2	Плоская равнина, покрытая березовыми лесами на иллювиально-железисто гумусовых светлосемах	13,14	0,92	139,89	166,9
3	Плоская, пологоволнистая, дренированная равнина, покрытая березово-кедровыми сообществами на иллювиально-железисто гумусовых светлосемах	24,05	0,81	127,36	152,2
4	Эоловые пески без растительности	12,51	0,83	140,71	167,8
5	Автомобильные дороги (без покрытия)	2,42	0,89	155,71	185,4
6	Автомобильные дороги (с твердым покрытием)	0,56	0,91	158,55	188,7
7	Коридоры коммуникаций (трубопроводы, ЛЭП) песчаные	2,39	0,86	155,75	185,4
8	Внедорожные проезды техники (лесные	0,11	0,96	159,23	189,5

№ СФК	Название СФК	Площадь, км <sup>2</sup>	Уклон, %	Весенний сток, мм	Годовой сток, мм
	проезды, зимники) песчаные				
9	Насыпи кустовых площадок, разведочных скважин и прочих добывающих сооружений	5,15	0,79	151,53	180,5
10	Насыпки грунта под жилые и промышленные сооружения( УКПГ, ДНС, ВЖК и тд.)	3,49	0,88	154,07	183,5
11	Карьеры грунта	4,84	0,91	152,03	181,1
12	Плоская, заозеренная, заболоченная, местами слабо дренированная равнина с кустарничково-лишайниково-моховыми комплексными болотами на торфяных верховых почвах	397,63	0,78	113,47	136,0
13	Внедорожные проезды техники (лесные проезды, зимники) торфяные	0,21	0,82	159,08	189,3
14	Коридоры коммуникаций (трубопроводы, ЛЭП) торфяные	5	0,74	151,75	180,7
Общая площадь бассейна и суммарный слой весеннего и годового стока		626,4		116,8	139,8

Таблица 8

Распределение весеннего и годового стока в пределах бассейна р.  
Тайяха (с учетом антропогенной нагрузки на момент этапа добычи)

[составлено автором]

№ СФК	Название СФК	Площадь, км <sup>2</sup>	Уклон, %	Весенний сток, мм	Годовой сток, мм
1	Плоская, хорошо дренированная надпойменная терраса, покрытая сосново-еловыми с примесью кедра лесами на аллювиальных дерновых почвах	153,91	1,12	114	136,6
2	Плоская равнина, покрытая березовыми лесами на иллювиально-железисто гумусовых светлосемах	12,97	0,92	140,12	167,1
3	Плоская, пологоволнистая, дренированная равнина, покрытая березово-кедровыми сообществами на иллювиально-железисто гумусовых светлосемах	17,81	0,81	133,82	159,8
4	Эоловые пески без растительности	12,51	0,83	140,71	167,8
5	Автомобильные дороги (без покрытия)	3,97	0,89	153,34	182,6
6	Автомобильные дороги (с твердым покрытием)	0,56	0,91	158,55	188,7
7	Коридоры коммуникаций (трубопроводы, ЛЭП) песчаные	4	0,86	153,29	182,5
8	Внедорожные проезды техники (лесные проезды, зимники) песчаные	0,17	0,96	159,14	189,4
9	Насыпи кустовых площадок, разведочных	10,34	0,79	143,78	171,4

№ СФК	Название СФК	Площадь, км <sup>2</sup>	Уклон, %	Весенний сток, мм	Годовой сток, мм
	скважин и прочих добывающих сооружений				
10	Насыпки грунта под жилые и промышленные сооружения( УКПГ, ДНС, ВЖК и тд.)	4,82	0,88	152,05	181,1
11	Карьеры грунта	8,58	0,91	146,41	174,5
12	Плоская, заозеренная, заболоченная, местами слабо дренированная равнина с кустарничково-лишайниково-моховыми комплексными болотами на торфяных верховых почвах	385,9	0,78	113,47	136,0
13	Внедорожные проезды техники (лесные проезды, зимники) торфяные	0,2	0,82	159,08	189,3
14	Коридоры коммуникаций (трубопроводы, ЛЭП) торфяные	10,66	0,74	143,3	170,9
Общая площадь бассейна и суммарный слой весеннего и годового стока		626,4		117,6	140,8

Результаты расчетов весеннего и годового стока с учетом антропогенной нагрузки показывают, что на этапе строительства произошло увеличение весеннего стока до 116,8 мм, годового стока до 139,8 мм; на этапе добычи – весеннего стока до 117,6 мм, годового стока до 140,8 мм. Таким образом, общий объем стока на этапе строительства составил – 87 576 483 м<sup>3</sup> (увеличился на 1,3% относительно естественного состояния), на этапе добычи – 88 192 109 м<sup>3</sup> (увеличился на 2% относительно естественного состояния и 0,7% относительно этапа строительства).

Данные результаты расчета свидетельствуют незначительных преобразованиях стока и что характер техногенного рельефообразования на водосборе р. Тайяха способствуют увеличению стока при развитии инфраструктуры месторождения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Количественная оценка преобразования речного стока малых рек в условиях криолитозоны является важной прикладной задачей в условиях интенсивного развития нефтегазовой промышленности. В результате техногенной деятельности существенно преобразуется ландшафт водосборов, что приводит к нарушению гидрологического режима многих объектов гидрографической сети. Актуальность обусловлена необходимостью формирования методической базы оценки преобразований стока в условиях отсутствия режимной гидрологической информации.

Формирование стока на водосборе р. Тайяха, главным образом, происходит при влиянии многолетнемерзлых грунтов, значительной заболоченности и заозеренности территории. Наличие большого количества болот и озер приводит к существенной зарегулированности стока. Равнинность территории обуславливает незначительные уклоны местности, что в свою очередь способствует накоплению влаги в понижениях рельефа.

Ландшафтно-гидрологический анализ является единственным методом, который позволяет получить необходимые стоковые характеристики в условиях отсутствия данных.

В результате оценки трансформации гидрологического режима р. Тайяха было выделено 14 типов стокоформирующих комплексов (5 из них имеют природное происхождение, 9 – антропогенное). Из природных, наибольшая площадь в пределах водосбора приходится на плоскую, заозеренную, заболоченную, местами слабо дренированную равнину с кустарничково-лишайниково-моховыми комплексными болотами на торфяных верховых почвах. Антропогенные участки в своем большинстве представлены насыпями кустовых площадок и коридорами коммуникаций (трубопроводы, ЛЭП). Полученные результаты расчета распределения весеннего и годового стока свидетельствуют о том, что наибольшее водный сток формируется на эоловых песках (без растительности), наименьший сток формируется на плоской,

заозеренной, заболоченной, местами слабо дренированной равнине с кустарничково-лишайниково-моховыми комплексными болотами на торфяных верховых почвах.

Результаты расчетов весеннего и годового стока с учетом антропогенной нагрузки показывают, что на этапе строительства произошло увеличение весеннего стока до 116,8 мм, годового стока до 139,8 мм; на этапе добычи – весеннего стока до 117,6 мм, годового стока до 140,8 мм. Таким образом, общий объем стока на этапе строительства составил – 87 576 483 м<sup>3</sup> (увеличился на 1,3% относительно естественного состояния), на этапе добычи – 88 192 109 м<sup>3</sup> (увеличился на 2% относительно естественного состояния и 0,7% относительно этапа строительства). Данные результаты расчета свидетельствуют о том, преобразование стока является незначительным и что характер техногенного рельефообразования на водосборе р. Тайяха способствуют увеличению стока при развитии инфраструктуры месторождения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

## Книжные издания

1. Антипов А. Н., Гагаринова О. В., Федоров В. Н. Ландшафтная гидрология: Теория, методы, реализация. – Научный журнал География и природные ресурсы, 2007.
2. Антипов А. Н., Корытный Л. М. Географические аспекты гидрологических исследований. – Новосибирск: Наука, 1981.
3. Аржакова С.К. Зимний сток рек криолитозоны России: Монография. – СПб.; РГГМУ, 2001. – 209 с.
4. Атлас Тюменской области, Выпуск 1, Москва-Тюмень.: ГУГК, 1971. – 216 с.
5. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение/под ред В. Б. Куваева. – Тула: Гриф и К, 2001. – 584 с.
6. Гвоздецкий Н. А., Криволицкий А. Е., Макунина А. А., Физико-географическое районирование Тюменской области/Н.А. Гвоздецкий. - М.: МГУ, 1973. - 124 с.
7. Давыдов Л. К., Дмитриева А. А., Конкина Н.Г. Общая гидрология. – Гидрометеиздат, Ленинград, 1973.
8. Дмитриева В.А. Гидрологическая роль озер и болот Воронежской области, Воронежский государственный университет, 2010.
9. Калинин В. М. Ландшафтно-гидрологический анализ малых водосборов: Учеб.-метод. указания. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 1999. - 30 с.
10. Калинин В. М., Ларин С. И., Романова И. М. Малые реки в условиях антропогенного воздействия. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 1998. 220 с.
11. Каретин Л. Н. Почвы Тюменской области/Л. Н. Каретин. – Новосибирск: «Наука», 1990. – 283 с.
12. Комлев А. М. Закономерности формирования и методы расчета речного стока. - Пермь, 2002. - 157 с.

13. Кочеткова Е. С. Историко-методические аспекты применения ландшафтно-гидрологического анализа при изучении геосистем Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2014. Т. 14, вып. 2
14. Лезин В. А. Реки и озёра Тюменской области (словарь-справочник).- Тюмень, 1995, 2000.- 300 с.
15. Лисина А.А., Григорьев В. Ю., Фролова Н. Л. Особенности формирования стока рек криолитозоны в современных климатических условиях, Московский государственный университет, 2020.
16. Лучкин В. А. Специфика применения метода ландшафтно-гидрологического анализа на территории криолитозоны Западной Сибири. Тюмень: Вестник ТюмГУ. Науки о Земле (№7; №4). 2013
17. Маслов А. Д. Основы геоэкологии: учебное пособие / А. Д. Маслов, Г. Г. Осадчая, Н. В. Тумель, Н. А. Шполянская. – Ухта: Институт управления, информации и бизнеса, 2005. – 176 с.: ил.
18. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1-6. Вып 17. Тюменская и Омская области – С-Пб. Гидрометеиздат, 1998. - 703 с.
19. Орлова В. В. Климат СССР. Западная Сибирь/В. В. Орлова.-Л.: Гидрометеиздат, 1962, - 359 с.
20. Почвы СССР / Т. В. Афанасьева и др. – М.: «Мысль», 1979. – 380 с, карт., 16 ил.
21. Правила разработки нефтяных и газонефтяных месторождений. М.: Мин-во нефт. пром-ти СССР, 1987. 66 с.
22. Растительный покров Западно-Сибирской равнины /Ильина И. С., Лапшина Е. И., Лавренко Н. Н., и др. – Новосибирск: Наука, 1985. 249 с.
23. Соромотин А. В. Воздействие добычи нефти на таежные экосистемы Западной Сибири: монография. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2010. 320 с.



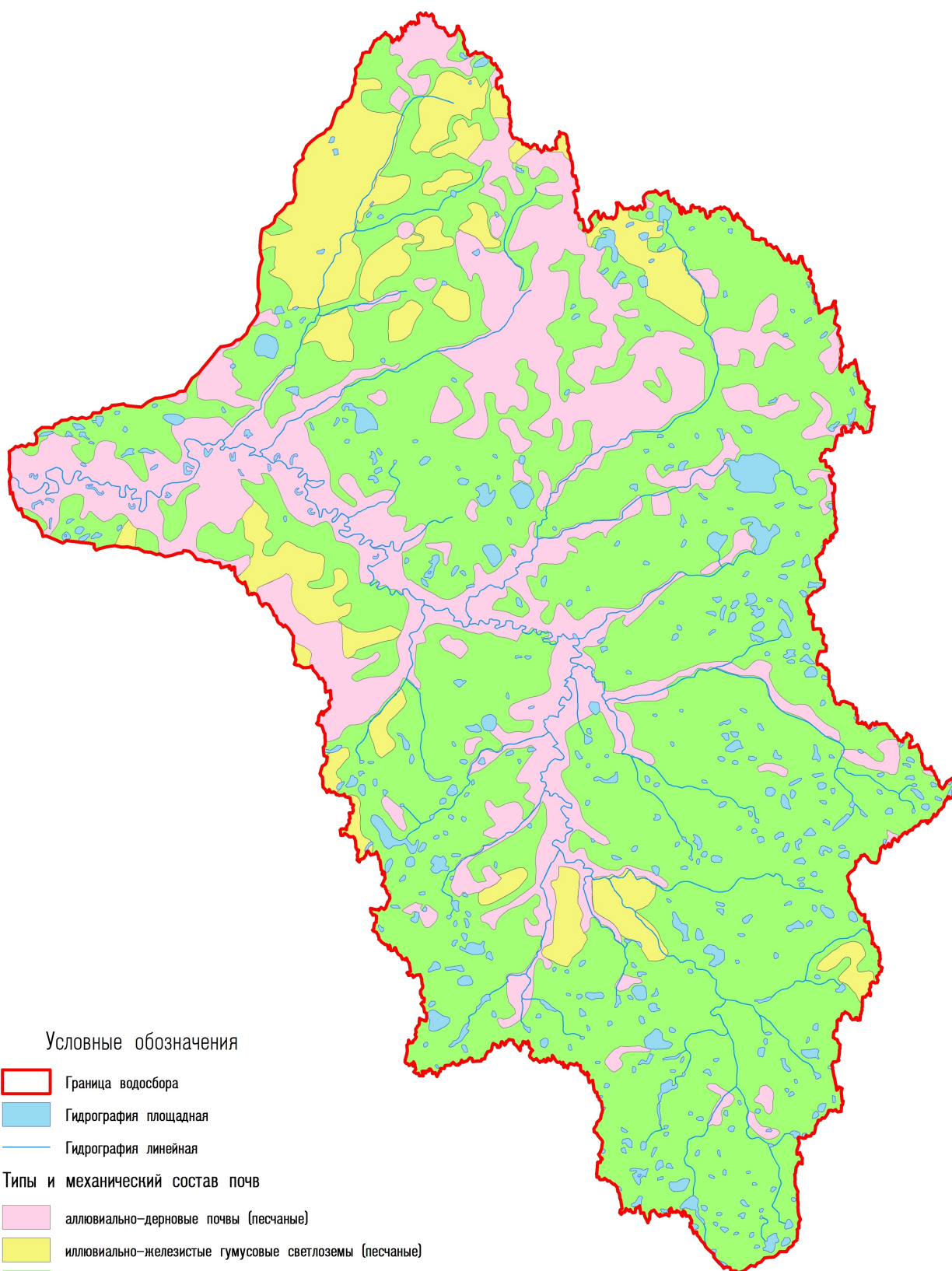
## Электронные издания

24. ПАО «НОВАТЭК»: официальный сайт. URL: <https://www.novatek.ru/> (дата обращения 17.04.2021)
25. Новости нефти и газа. URL: <https://neftegaz.ru/> (дата обращения 17.04.2021)

## ПРИЛОЖЕНИЯ



Почвенная карта-схема бассейна реки Тайяха  
Масштаб 1:100 000



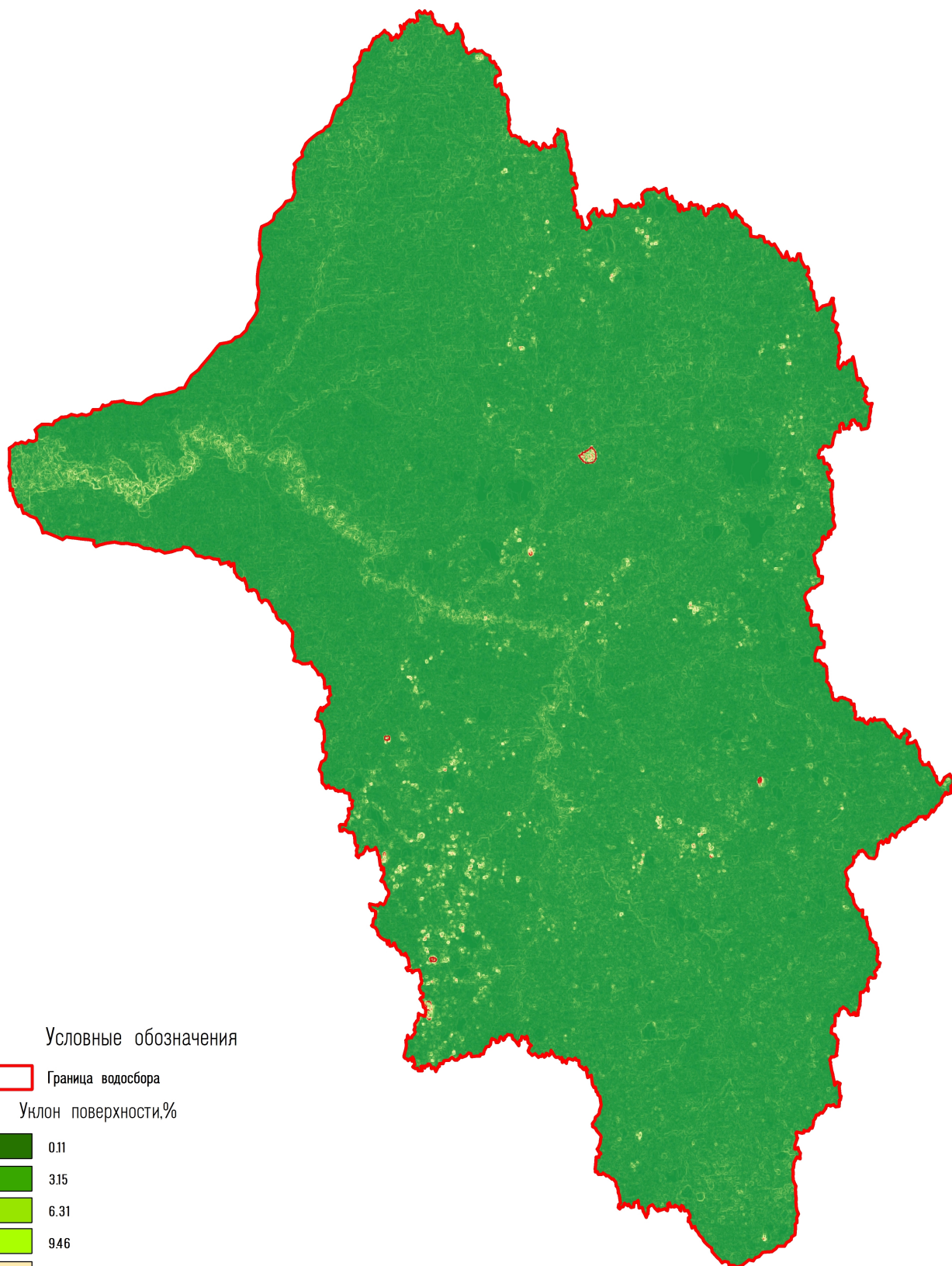
Условные обозначения

- Граница водосбора
- Гидрография площадная
- Гидрография линейная
- Типы и механический состав почв**
- аллювиально-дерновые почвы (песчаные)
- иллювиально-железистые гумусовые светлоземы (песчаные)
- торфяные верховые почвы (торф)






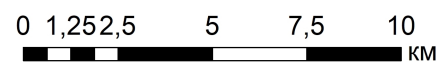
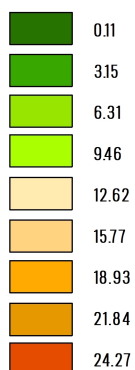
Карта-схема уклонов бассейна реки Тайяха  
Масштаб 1:100 000



Условные обозначения

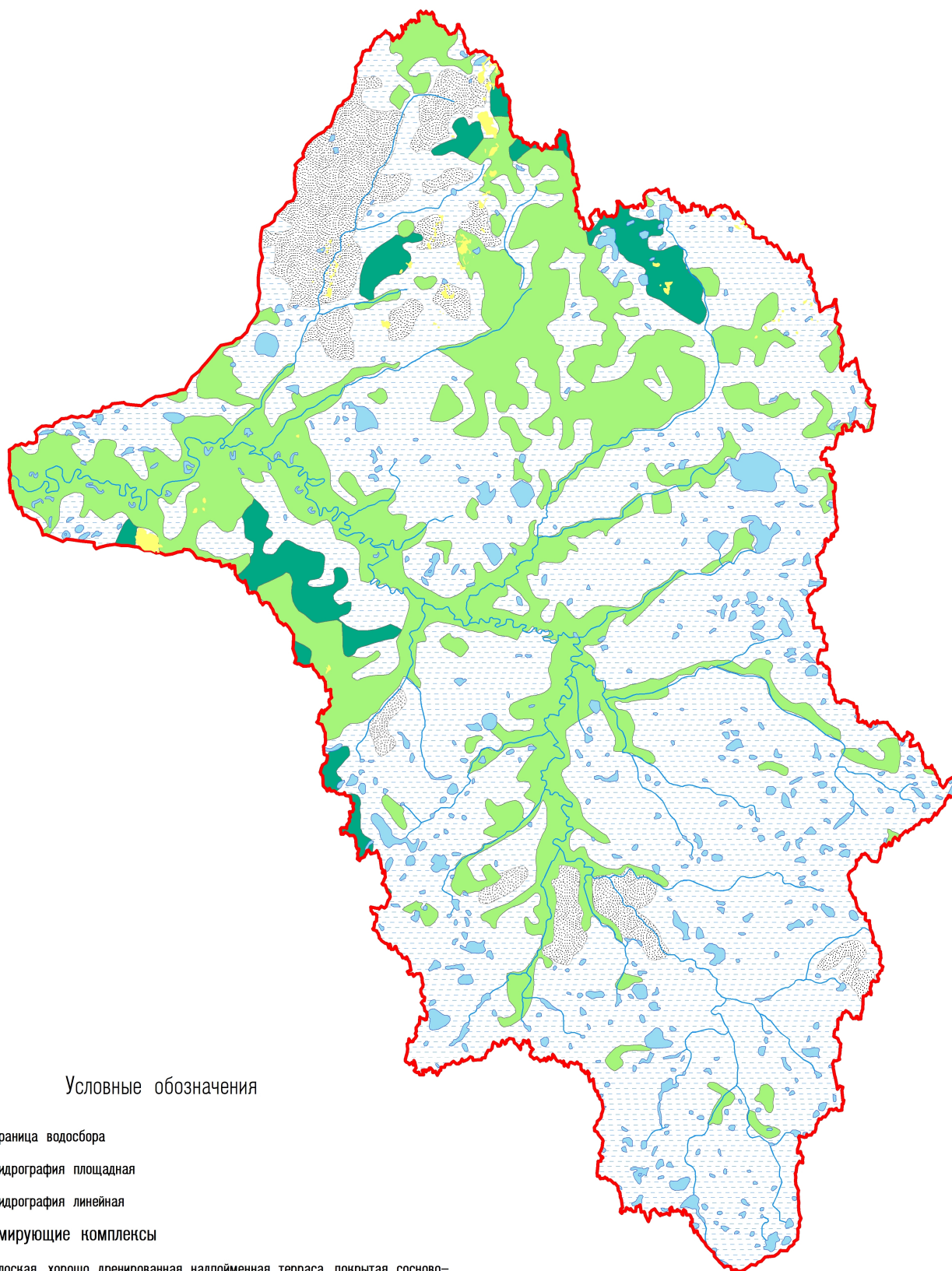
 Граница водосбора

Уклон поверхности, %





Карта-схема стокоформирующих комплексов бассейна реки Тайяха  
Масштаб 1:100 000




Условные обозначения


 Граница водосбора


 Гидрография площадная


 Гидрография линейная

Стокоформирующие комплексы


 плоская, хорошо дренированная надпойменная терраса, покрытая сосново-еловыми с примесью кедровыми лесами на аллювиальных дерновых почвах

 плоская равнина, покрытая березовыми лесами на иллювиально-железисто гумусовых светлосеках

 плоская, пологоволнистая, дренированная равнина, покрытая березово-кедровыми сообществами на иллювиально-железисто гумусовых светлосеках

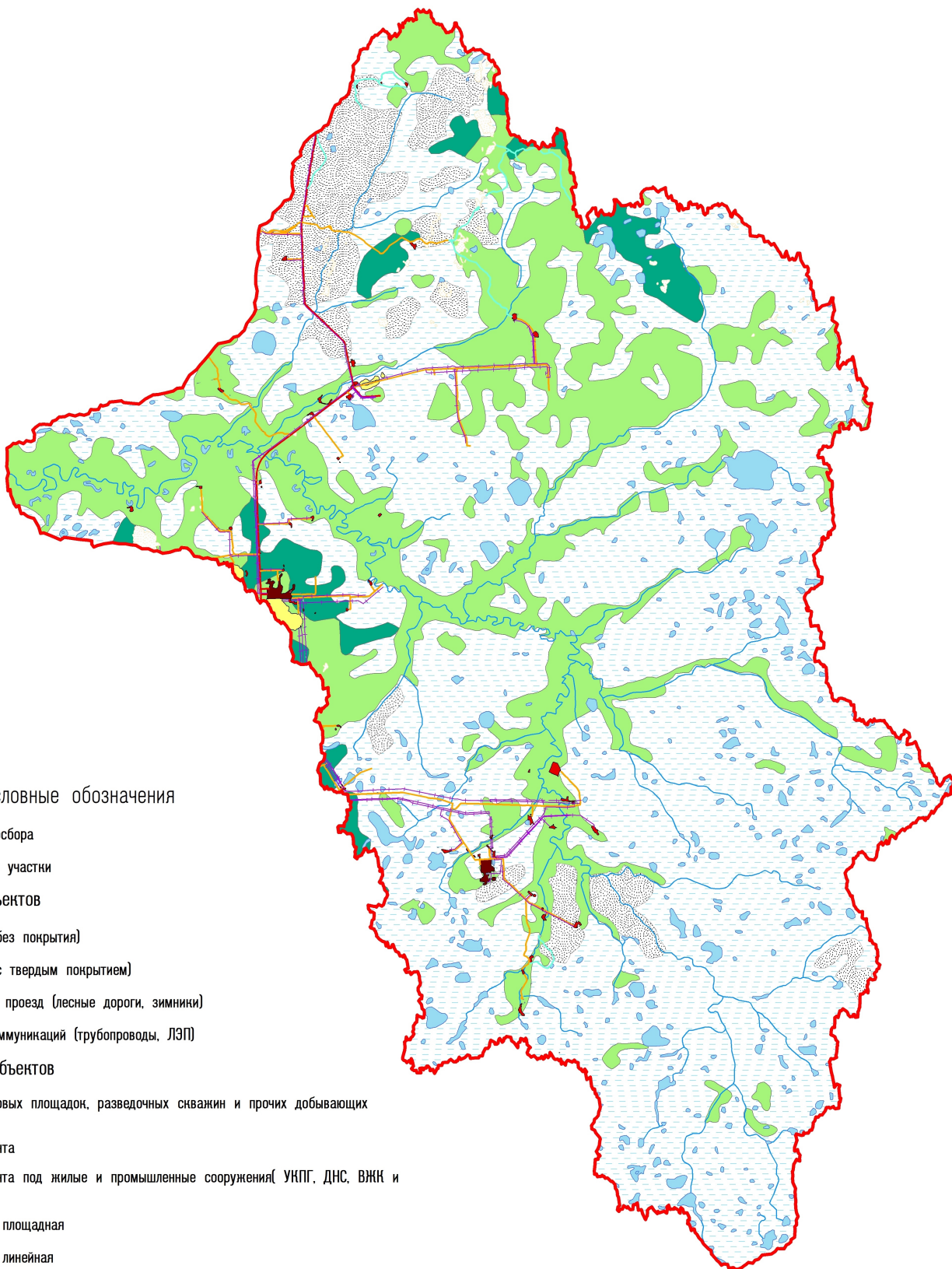
 плоская, заозеренная, заболоченная, местами слабо дренированная равнина с кустарничково-лишайниково-моховыми комплексными болотами на торфяных верховых почвах

 золотые пески без растительности

0 1,25 2,5 5 7,5 10  
 КМ

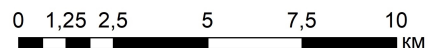


Карта-схема стокоформирующих комплексов бассейна реки Тайяха  
(с учетом антропогенной нагрузки) (на момент этапа строительства)  
Масштаб 1:100 000



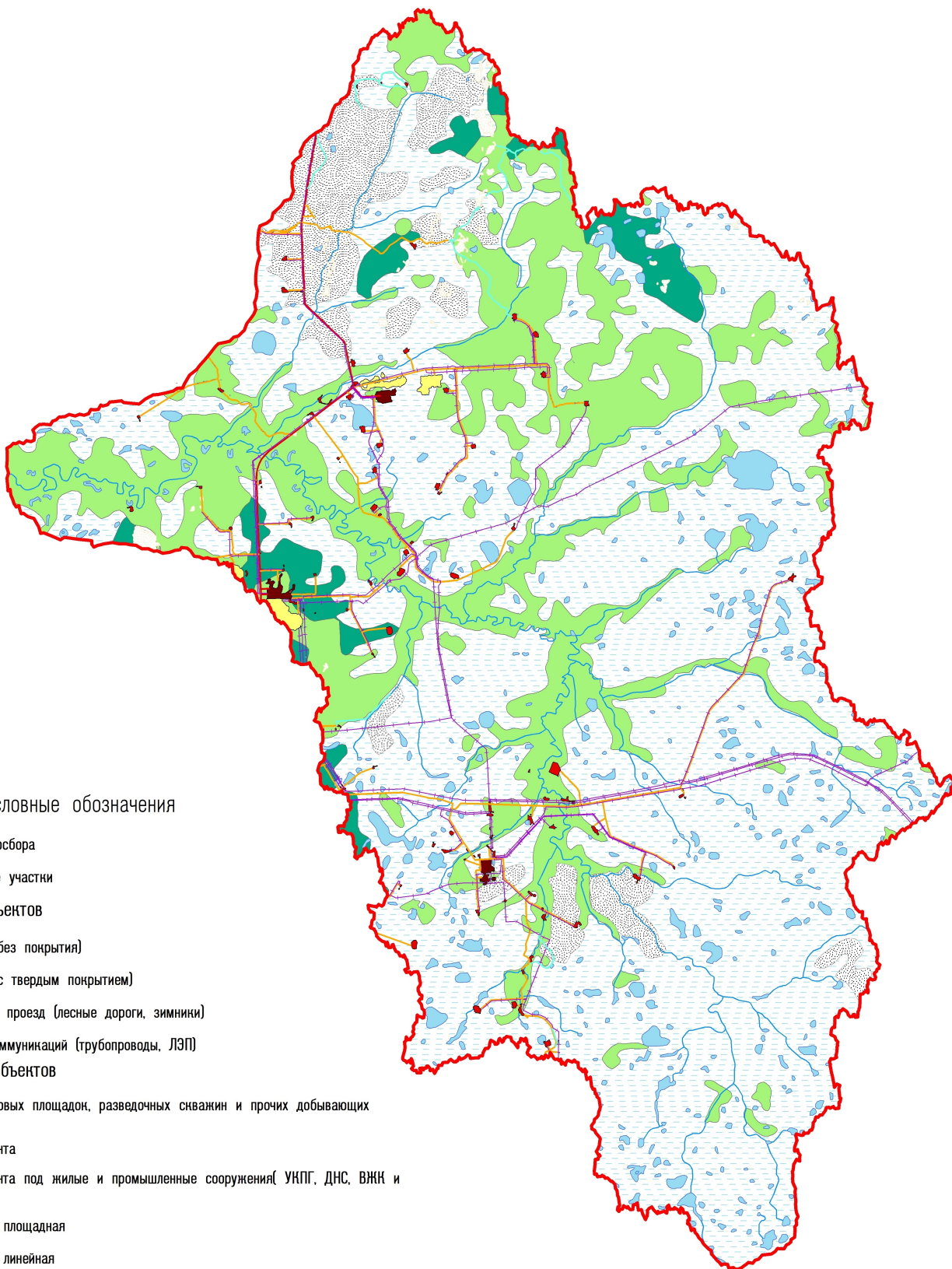
Условные обозначения

- Граница водосбора
- Подтопленные участки
- Типы линейных объектов**
- Автодорога (без покрытия)
- Автодорога (с твердым покрытием)
- Внедорожный проезд (лесные дороги, зимники)
- Коридоры коммуникаций (трубопроводы, ЛЭП)
- Типы площадных объектов**
- насыпи кустовых площадок, разведочных скважин и прочих добывающих сооружений
- Карьеры грунта
- насыпки грунта под жилые и промышленные сооружения (УКП, ДНС, ВЖК и тд.)
- Гидрография площадная
- Гидрография линейная
- Стокоформирующие комплексы**
- плоская, хорошо дренированная надпойменная терраса, покрытая сосново-еловыми с примесью кедровыми лесами на аллювиальных дерновых почвах
- плоская равнина, покрытая березовыми лесами на иллювиально-железисто-гумусовых светлосеках
- плоская, пологоволнистая, дренированная равнина, покрытая березово-кедровыми сообществами на иллювиально-железисто-гумусовых светлосеках
- плоская, заозеренная, заболоченная, местами слабо дренированная равнина с кустарничково-лишайниково-моховыми комплексными болотами на торфяных верховых почвах
- золотые пески без растительности



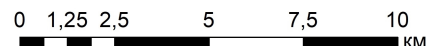


Карта-схема стокоформирующих комплексов бассейна реки Тайяха  
(с учетом антропогенной нагрузки) (на момент этапа добычи)  
Масштаб 1:100 000



Условные обозначения

- Граница водосбора
- Подтопленные участки
- Типы линейных объектов**
- Автодорога (без покрытия)
- Автодорога (с твердым покрытием)
- Внедорожный проезд (лесные дороги, зимники)
- Коридоры коммуникаций (трубопроводы, ЛЭП)
- Типы площадных объектов**
- Насыпи кустовых площадок, разведочных скважин и прочих добывающих сооружений
- Карьеры грунта
- Насыпи грунта под жилые и промышленные сооружения (УКПГ, ДНС, ВЖК и тд.)
- Гидрография площадная
- Гидрография линейная
- Стокоформирующие комплексы**
- плоская, хорошо дренированная надпойменная терраса, покрытая сосново-еловыми с примесью кедровыми лесами на аллювиальных дерновых почвах
- плоская равнина, покрытая березовыми лесами на иллювиально-железисто-гумусовых светлосемах
- плоская, пологоволнистая, дренированная равнина, покрытая березово-кедровыми сообществами на иллювиально-железисто-гумусовых светлосемах
- плоская, заозеренная, заболоченная, местами слабо дренированная равнина с кустарничково-лишайниково-моховыми комплексными болотами на торфяных верховых почвах
- эоловые пески без растительности



## ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Таблица 1

Количественные характеристики стокоформирующих комплексов, метеоданные и результаты расчетов весеннего стока на территории водосбора р. Тайяха (естественное состояние водосбора) [составлено автором]

№ СФК	Ландшафтная характеристика	F, км <sup>2</sup>	Укло н, %	Кф, м/су т	Метеоданные			Весенн ий сток, мм
					pW	Снегозапас ы	Нпр, м	
1	Плоская, хорошо дренированная надпойменная терраса, покрытая сосново-еловыми с примесью кедра лесами на аллювиальных дерновых почвах	154,91	1,12	1,5	2,01	159,4	2,2	114
2	Плоская равнина, покрытая березовыми лесами на иллювиально-железисто гумусовых светлоземах	20,2	0,92	0,5	2,01	159,4	2,2	131,21
3	Плоская, пологоволнистая, дренированная равнина, покрытая березово-кедровыми сообществами на иллювиально-железисто гумусовых светлоземах	28,89	0,81	0,5	2,01	159,4	2,2	123,67
4	Эоловые пески без растительности	12,51	0,83	1,5	2,01	159,4	2,2	140,71
5	Плоская, заозеренная, заболоченная, местами слабо дренированная равнина с кустарничково-лишайниково-моховыми комплексными болотами на торфяных верховых почвах	409,9	0,78	20	1,16	159,4	2,2	113,47
Общая площадь бассейна и суммарный слой весеннего стока		626,4					115,2	



## ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Таблица 2

Количественные характеристики стокоформирующих комплексов, метеоданные и результаты расчетов весеннего стока на территории водосбора р. Тайяха (на момент этапа строительства) [составлено автором]

№ СФК	Ландшафтная характеристика	F, км <sup>2</sup>	Укло н, %	Кф, м/су т	Метеоданные			Весенн ий сток, мм
					pW	Снегозапас ы	Нпр, м	
1	Плоская, хорошо дренированная надпойменная терраса, покрытая сосново-еловыми с примесью кедра лесами на аллювиальных дерновых почвах	154,91	1,12	1,5	2,01	159,4	2,2	114
2	Плоская равнина, покрытая березовыми лесами на иллювиально-железисто гумусовых светлоземах	13,14	0,92	0,5	2,01	159,4	2,2	139,89
3	Плоская, пологоволнистая, дренированная равнина, покрытая березово-кедровыми сообществами на иллювиально-железисто гумусовых светлоземах	24,05	0,81	0,5	2,01	159,4	2,2	127,36
4	Эоловые пески без растительности	12,51	0,83	1,5	2,01	159,4	2,2	140,71
5	Автодороги (без покрытия)	2,42	0,89	1,5	2,01	159,4	2,2	155,71
6	Автодороги (с твердым покрытием)	0,56	0,91	1,5	2,01	159,4	2,2	158,55
7	Коридоры коммуникаций (трубопроводы, ЛЭП) песчаные	2,39	0,86	1,5	2,01	159,4	2,2	155,75
8	Внедорожные проезды техники (лесные проезды, зимники) песчаные	0,11	0,96	1,5	2,01	159,4	2,2	159,23
9	Насыпи кустовых площадок, разведочных скважин и прочих добывающих сооружений	5,15	0,79	1,5	2,01	159,4	2,2	151,53

№ СФК	Ландшафтная характеристика	F, км <sup>2</sup>	Уклон, %	Кф, м/сут	Методанные			Весенний сток, мм
					pW	Снегозапасы	Нпр, м	
10	Насыпки грунта под жилые и промышленные сооружения( УКПГ, ДНС, ВЖК и тд.)	3,49	0,88	1,5	2,01	159,4	2,2	154,07
11	Карьеры грунта	4,84	0,91	1,5	2,01	159,4	2,2	152,03
12	Плоская, заозеренная, заболоченная, местами слабо дренированная равнина с кустарничково-лишайниково-моховыми комплексными болотами на торфяных верховых почвах	397,63	0,78	20	1,16	159,4	2,2	113,47
13	Внедорожные проезды техники (лесные проезды, зимники) торфяные	0,21	0,82	20	1,16	159,4	2,2	159,08
14	Коридоры коммуникаций (трубопроводы, ЛЭП) торфяные	5	0,74	20	1,16	159,4	2,2	151,75
Общая площадь бассейна и суммарный слой весеннего стока		626,4					116,8	

## ПРИЛОЖЕНИЕ 8

Таблица 3

Количественные характеристики стокоформирующих комплексов, метеоданные и результаты расчетов весеннего стока на территории водосбора р. Тайяха (на момент этапа добычи) [составлено автором]

№ СФК	Ландшафтная характеристика	F, км <sup>2</sup>	Укло н, %	Кф, м/су т	Метеоданные			Весенн ий сток, мм
					pW	Снегозапас ы	Нпр, м	
1	Плоская, хорошо дренированная надпойменная терраса, покрытая сосново-еловыми с примесью кедра лесами на аллювиальных дерновых почвах	153,91	1,12	1,5	2,01	159,4	2,2	114
2	Плоская равнина, покрытая березовыми лесами на иллювиально-железисто гумусовых светлоземах	12,97	0,92	0,5	2,01	159,4	2,2	140,12
3	Плоская, пологоволнистая, дренированная равнина, покрытая березово-кедровыми сообществами на иллювиально-железисто гумусовых светлоземах	17,81	0,81	0,5	2,01	159,4	2,2	133,82
4	Эоловые пески без растительности	12,51	0,83	1,5	2,01	159,4	2,2	140,71
5	Автодороги (без покрытия)	3,97	0,89	1,5	2,01	159,4	2,2	153,34
6	Автодороги (с твердым покрытием)	0,56	0,91	1,5	2,01	159,4	2,2	158,55
7	Коридоры коммуникаций (трубопроводы, ЛЭП) песчаные	4	0,86	1,5	2,01	159,4	2,2	153,29
8	Внедорожные проезды техники (лесные проезды, зимники) песчаные	0,17	0,96	1,5	2,01	159,4	2,2	159,14
9	Насыпи кустовых площадок, разведочных скважин и прочих добывающих сооружений	10,34	0,79	1,5	2,01	159,4	2,2	143,78

№ СФК	Ландшафтная характеристика	F, км <sup>2</sup>	Уклон, %	Кф, м/сут	Метеоданные			Весенний сток, мм
					pW	Снегозапасы	Нпр, м	
10	Насыпки грунта под жилые и промышленные сооружения( УКПГ, ДНС, ВЖК и тд.)	4,82	0,88	1,5	2,01	159,4	2,2	152,05
11	Карьеры грунта	8,58	0,91	1,5	2,01	159,4	2,2	146,41
12	Плоская, заозеренная, заболоченная, местами слабо дренированная равнина с кустарничково-лишайниково-моховыми комплексными болотами на торфяных верховых почвах	385,9	0,78	20	1,16	159,4	2,2	113,47
13	Внедорожные проезды техники (лесные проезды, зимники) торфяные	0,2	0,82	20	1,16	159,4	2,2	159,08
14	Коридоры коммуникаций (трубопроводы, ЛЭП) торфяные	10,66	0,74	20	1,16	159,4	2,2	143,3
Общая площадь бассейна и суммарный слой весеннего стока		626,4					117,6	