

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федерального
исследовательского центра Тюменского научного центра Сибирского отделения
Российской академии наук
«Институт криосферы Земли»**

на правах рукописи

ЛОБОТРОСОВА СВЕТЛАНА АЙРАТОВНА

**СУКЦЕССИИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ЭОЛОВЫХ ФОРМ
РЕЛЬЕФА В СЕВЕРНОЙ ТАЙГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ
(на примере бассейна реки Надым)**

Специальность 03.02.08 – экология (биология)

**Диссертация на соискание ученой степени
кандидата биологических наук**

**Научный руководитель:
доктор биологических наук
А. В. Соромотин**

Тюмень – 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Глава 1. ЭОЛОВЫЕ ФОРМЫ РЕЛЬЕФА КАК ИНДИКАТОРЫ ПАЛЕОУСЛОВИЙ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ).....	8
1.1. Распространение естественных эоловых образований.....	8
1.2. Генезис естественных эоловых образований.....	12
1.3. Сукцессии растительности на песчаных раздувах.....	16
Глава 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	233
2.1. Объекты исследования	233
2.2. Методы исследования.....	300
Глава 3. АНАЛИЗ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И СТРУКТУРЫ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ НА ПЕСЧАНОМ РАЗДУВЕ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ	39
3.1. Анализ флоры и растительности	39
3.2. Структура растительности	57
3.3. Сукцессии растительности	68
Глава 4. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ПЕСЧАНОМ РАЗДУВЕ	90
4.1. Геологические условия и мезорельеф.....	911
4.2. Климатические условия.....	966
4.3. Эдафические условия.....	1077
Глава 5. РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ПЕСЧАНЫХ ПУСТОШЕЙ РАЗЛИЧНОГО ГЕНЕЗИСА В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ.....	1222
5.1 Рекультивация модельного песчаного раздува.....	122
5.2 Рекультивация песчаных карьеров	127
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	1466
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	148
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	17070
Приложение 1	170
Приложение 2	171
Приложение 3	177
Приложение 4	182
Приложение 5	183
Приложение 6	187
Приложение 7	1888
Приложение 8	19393

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Уникальным природным явлением для севера Западной Сибири, где широкое распространение имеют тундровые и таежные ландшафты, являются естественные и техногенные оголенные песчаные массивы с активными процессами дефляции. Данные ландшафты напоминают формы рельефа, типичные для аридного и субаридного климатического пояса, но широко представленные и в зоне вечной мерзлоты. Эоловый рельеф севера Западной Сибири является следствием исторического развития региона в голоцене и изучение закономерностей функционирования песчаных экосистем представляется актуальной научной задачей. Изучение закономерностей формирования растительного покрова оголенных песков позволяет разрабатывать адаптированные к региональным условиям технологии рекультивации многочисленных песчаных карьеров на месторождениях нефти и газа тюменского севера, где строительство и обустройство инфраструктуры повлекло за собой активизацию процессов ветровой эрозии (Сизов, Соромотин, 2007).

В последнее время одним из приоритетных направлений экологических исследований стало изучение восстановления нарушенных природных ландшафтов севера Западной Сибири. Исследований процессов восстановления растительности и почвообразования естественных песчаных пустошей в северной тайге Западной Сибири проведено недостаточно – отсутствуют данные многолетних наблюдений за процессами формирования естественного растительного покрова на эоловых формах различного генезиса, не выявлены основные позитивные и негативные экологические, климатические и прочие факторы, определяющие успешность формирования устойчивых фитоценозов. Опубликованные материалы содержат, в основном, флористические списки видов, произрастающих на северотаежных песчаных субстратах, в первую очередь техногенного происхождения (Проскурякова, 2002; Коронатова, 2004; Кулюгина, 2004; Медко, 2004; Ермохина, 2009; Сумина, 2011; Игловиков, 2012; Дулепова, 2014; Капитонова и др., 2017). Опубликованные материалы отражают

сведения о сукцессиях растительности в зоне тундры и лесотундры. Однако, изучением динамики растительности естественных песчаных массивов территории северной тайги Западной Сибири не занимались. Поэтому несомненный интерес представляет изучение не только флоры и растительности, но и сукцессий фитоценозов эоловых форм рельефа.

Цель работы – изучение сукцессии растительного покрова естественного песчаного раздува в северной тайге Западной Сибири.

Задачи исследований:

- определить флористический состав растительности естественных песчаных раздувов;
- изучить особенности структуры и пространственного распределения растительного покрова различных элементов мезорельефа песчаных раздувов;
- установить основные стадии и направления развития первичных сукцессий фитоценозов оголенных песков;
- выявить роль экологических условий среды для формирования растительности песчаных раздувов;
- рекомендовать биологические технологии рекультивации раздуваемых песков на модельном раздуве.

Научная новизна работы. Впервые проведены многолетние исследования сукцессии растительного покрова естественного песчаного раздува северотаёжной подзоны Западной Сибири. Установлены основные взаимосвязи сукцессии растительных сообществ дюн с климатическими, эдафическими и орографическими факторами среды. Выявлено влияние господствующих ветров северо-западного и юго-восточного направления на скорость зарастания песчаных пустошей естественного генезиса. Описан новый тип первичной экзогенетической (аллогенной) сукцессии – эоловая. Установлены два направления сукцессии – циклическое и линейное.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы заключается в дополнении сукцессионной концепции развития растительных сообществ. Установлены факторы, обеспечивающие

циклический характер флуктуаций, и условия, позволяющие сформироваться климаксовому сообществу.

Результаты диссертационного исследования используются в учебном процессе Института наук о Земле ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет») при чтении курсов лекций «Рекультивация земель» и «Современные методологические проблемы экологии и природопользования» (бакалавриат и магистратура) по направлению обучения 05.04.06 «Экология и природопользование».

В рамках исследования проведен сравнительный анализ различных технологий биологической рекультивации песчаных пустошей естественного и антропогенного генезиса в условиях северной тайги Западной Сибири. Впервые изучена эффективность технологии лесовосстановления саженцами-дичками сосны обыкновенной на песчаных карьерах. Полученные данные могут быть использованы при разработке нормативных документов и проектов по биологической рекультивации нарушенных земель и оголенных песков в условиях северотаежной подзоны Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО).

Практическая значимость проведенных исследований заключается в разработке эффективных технологий рекультивации песчаных раздувов в подзоне северной тайги Западной Сибири, которые были использованы при рекультивации сухоройных карьеров песка на Западно-Уренгойском лицензионном участке для АО «Роспан Интернейшенл» в 2016-2019 гг.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Динамика эоловых форм мезорельефа естественного песчаного раздува определяет характер растительного покрова, образующего закономерную сукцессионную циклическую флуктуацию.

2. В случае прекращения движения песчаных дюн сукцессия приобретает направленный характер в сторону формирования климаксового сообщества (лишайниковые сосняки).

3. Закрепление многолетней травянистой и древесной растительности

происходит благодаря снижению ветровой нагрузки на подветренных склонах дюн.

Апробация работы. Основные положения и результаты исследований докладывались на: международной научно-практической конференции «Земля, вода, климат Сибири и Арктики в XXI веке: проблемы и решения» (Тюмень, 2014); международной конференции «Арктика, Субарктика: мозаичность, контрастность, вариативность криосферы» (Тюмень, 2015); международной конференции «Актуальные проблемы архитектуры, строительства, экологии и энергосбережения в условиях Западной Сибири» (Тюмень, 2015); международной конференции «Окружающая среда и менеджмент природных ресурсов» (Тюмень, 2016); международной конференции «Ландшафтоведение: теория, методы, ландшафтно-экологическое обеспечение природопользования и устойчивого развития» (Тюмень-Тобольск, 2017); международной конференции «Актуальные вопросы биогеографии» (Санкт-Петербург, 2018); всероссийской научной конференции «Человек и Север: Антропология, археология, экология» (Тюмень, 2018).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 17 работ, в том числе 3 статьи в рецензируемых журналах, включенных в список ВАК РФ.

Личный вклад. Исследования поддерживались грантами РФФИ, в которых автор выступал в качестве исполнителя (проекты 16-45-890529р-а, 16-45-890529). Автор провела полевые исследования (2013-2018 гг.), обобщение литературного материала, интерпретацию и статистическую обработку полученных данных, апробацию результатов исследований, подготовила публикации и написала текст диссертации.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав и заключения, списка литературы и 8 приложений. Объем диссертации составляет 193 страниц машинописного текста, включает 61 рис. и 27 табл. Список литературы содержит 243 источника, из них 17 – на иностранных языках.

Благодарности. Автор считает своим долгом выразить искреннюю благодарность научному руководителю доктору биологических наук, доценту,

директору НИИ экологии и рационального использования природных ресурсов Тюменского государственного университета А.В. Соромотину, сотрудникам «Института Криосферы Земли СО РАН» д.г.-м.н. Н.Г. Москаленко, к.г.н. О.Е. Пономаревой, кандидату географических наук, старшему научному сотруднику Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем нефти и газа Сизову О.С., кандидату географических наук, ведущему научному сотруднику ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр СО РАН» Якимову А.С., а также коллегам по работе, которые оказали помощь при получении экспериментального материала и подготовке диссертации.

Глава 1 ЭОЛОВЫЕ ФОРМЫ РЕЛЬЕФА КАК ИНДИКАТОРЫ ПАЛЕОУСЛОВИЙ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

1.1 Распространение естественных эоловых образований

Одним из основных процессов экзогенного морфогенеза в пределах зоны северной тайги Западной Сибири является эоловый процесс. Главным участником данного процесса переноса вещества является ветер. Деятельность ветра в совокупности с другими физико-географическими факторами производит денудацию земной поверхности и обуславливает формирование эолового рельефа.

Эоловые формы рельефа - это уникальные природные сообщества, созданные при совместной работе ветра и песчаного материала различного происхождения. От силы и скорости ветры зависит какие формы, приобретет поверхность огромных песчаных масс.

Эоловое рельефообразование происходит во всех природных зонах и отличается рядом характерных особенностей (Чичагов, 2004):

1. Работа ветра – это наиболее древний, исходный и перманентно действующий рельефообразующий процесс, он не контролируется деятельностью человека, но может усиливаться от деятельности последнего;
2. Деятельность ветра прямо не зависит от проявления силы тяжести на Земле; на обширных плоских равнинах подчиняется макро- и микроциркуляционным процессам, а в условиях расчлененного рельефа – контролируется его неровностями;
3. Ветер как движение атмосферы охватывает всю 8-10-километровую воздушную оболочку Земли и проникает в виде почвенного воздуха в поверхностные горизонты планеты.

Активные эоловые формы и песчаные обнажения встречаются на всех семи континентах земного шара и занимают площадь около 5 000 000 км² (Thomas, D.S.G.; Wiggs, G.F.S., 2008).

Эоловые формы рельефа являются типичными для аридного и субаридного климатического пояса (рис.1).

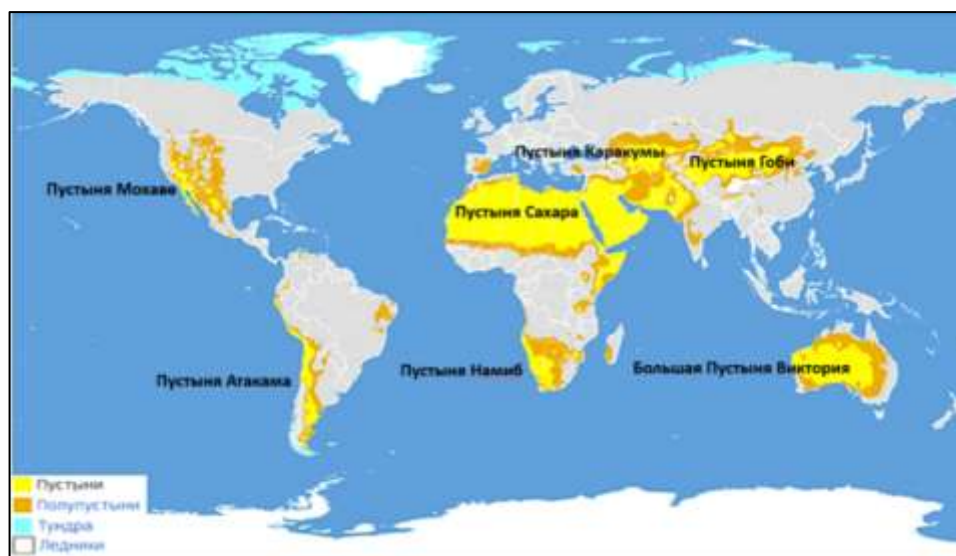


Рис.1 – Великие пустыни мира (по данным Яндекс)

Однако области распространения эоловых форм рельефа простираются и в зону высоких широт Северного полушария включая Канаду, Аляску, Европу и Россию (рис.2).

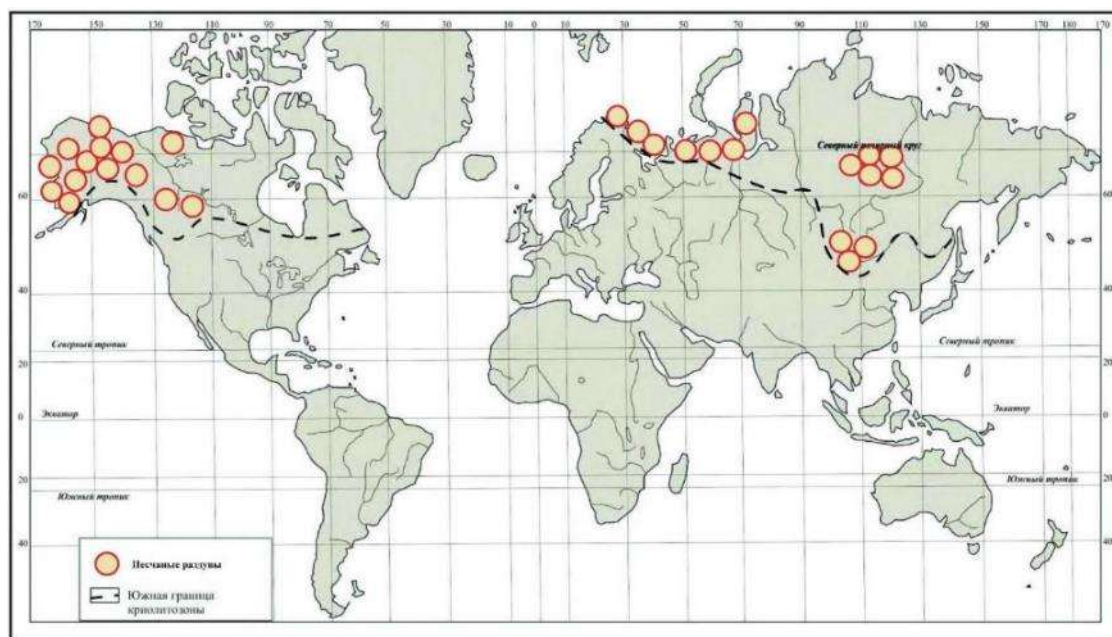


Рис.2 – Схема распространения эоловых отложений криолитозоны мира (Куть, 2014)

Песчаные пустыни внушительных размеров среди зоны вечной мерзлоты привлекли внимание многих ученых разных времен.

В северотаежной подзоне территории Канады и Аляски незакрепленными песками покрыто около 26 тыс. км², в том числе на Аляске площадь распространения дюнных песков составляет более 12 тыс. км² (Black, 1951; Pewe et.al. 1953, 1975; Carter et al.,1982; Carson, McLean, 1986; Wolfe, Nickling, 1997; Muhs, Wolfe, 1999; Muhs et al., 2001, 2003; Wolfe, et al., 2002; Muhs, 2004; Wolfe, 2006). В Канаде эоловый рельеф описан в междуречье рек Атабаска и Ричардсон на северо-востоке канадской провинции Альберта (Allen, 2003), а также на побережье озера Атабаска на северо-западе канадской провинции Саскачеван (Jonker, Rowe, 2001).

На территории Европейских стран в подзоне северной тайги области незакрепленных песчаных массивов занимают меньшие площади и расположены в пределах Финляндии, Швеции и Норвегии (Klemsdal, 1969; Seppala, 1972, 2004; Bergqvist, 1981; Tikkanen, Heikkinen, 1995).

В России районами распространения дюнных массивов в таежной зоне являются Западная Сибирь, Якутия, Забайкалье, Прибайкалье, республика Коми (рис.2). Здесь изучением эоловых форм занимались ученые начиная с 18 века. Впервые делались описания развеваемых песков в ходе экспедиций русского географического общества (Житков, 1913; Драницын, 1915; Городков, 1924; Григорьев, 1930; Работнов, 1935; Ивановский, 1939; Краснов, 1947; Зольников, Попова, 1957; Земцов, 1962, 1976; Медведев, 1964; Иванов, 1966; Орловский, 1974; Волков, 1976; Кошечкин, 1979; Павлов, 1981; Чичагов, 1991; Гаращенко, 1993; Гаель, 1999; Самсонова, Васильев, 2000; Воскресенский, 2001; Кулюгина, 2002, 2004; Лукин, Толстихин, 2005; Выркин, 2010, Дулепова, 2014 и др.).

На территории северной тайги Западной Сибири впервые отметили образование дефляционных котловин на холмах отмечалось вдоль рек Аган, Пур, Казым и Надым (Городков, 1924; Марков, 1928; Шубаев, 1948), а также в районе г. Сургута (Максимов, 1930). В верховьях р. Пур отмечались асимметричные накопления древнедюнного песка, не носящие каких-либо закономерных форм (Марков, 1924). По берегам р.Надым располагались засыпанные песком сосновые боры (Шубаев, 1948).

Позднее в долине притока реки Надым Левая Хетта описывались крупные формы бугристо-западинного рельефа, а также крупные площади перевевания песков (раздувы), с формирующимися песчаными буграми высотой 1-1,5 м и более, гряды и котловины выдувания (Земцов, 1959, 1962, 1976). В последующем исследовании выяснилось, что площади распространения песчаных раздувов в долине реки Левая Хетта и среднем течении реки Надым занимают значительные площади размером около 17 500 км² (Сизов, Лоботросова, 2015; рис.3).

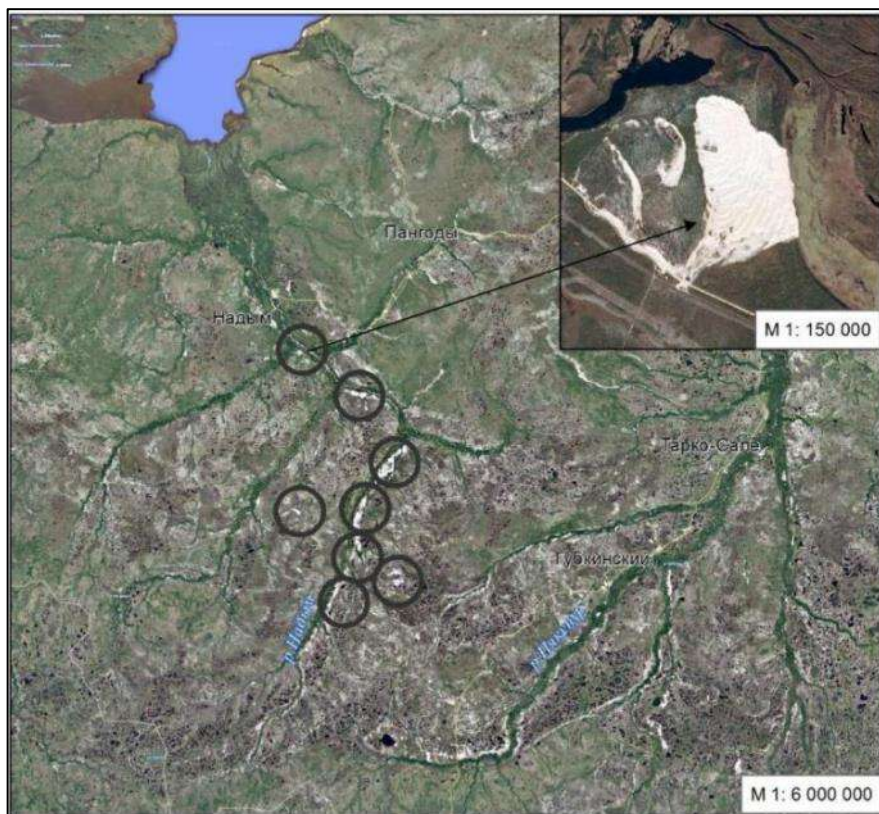


Рис.3 – Распространение золотых отложений в бассейне р.Надым (Google Earth).

Установлено также, что золотые формы рельефа имеют место и на надпойменных боровых террасах в долинах рек Ильяк, Ларь-Еган и Кулымского Еган (Земцов, 1959). На Пур-Тазовском междуречье обследованы гигантские дюны у Часельского озера, которые тянутся в четыре ряда на расстоянии 0,5-0,8 км от берега. Местами они смыкаются своими крыльями и образуют целую цепь дюн, ориентированных с северо-запада на юго-восток (Земцов, 1976). Песчаные гривы, поросшие сосновым бором, также отмечены в бассейне р. Бол. Юган. На левом берегу р. Аган, в десяти км. выше поселка Вар-Еган, описан раздуваемый

высокий яр, сложенный хорошо отсортированными песками, которые выдуваются ветром на поверхность террасы, где образуется крупная дюна. (Земцов, 1976). Залесенные песчаные гривы описаны в бассейне р. Салым С.В. Яковлевой, которая считает их результатом эоловой переработки песков, отлагавшихся перед фронтом ледника (Атлас ЯНАО, 2004).

По данным некоторых ученых установлено, что основная площадь развеваемых песков находится в пределах Урало-Енисейской северотаежной области, Обь-Тазовской ландшафтной подобласти, Полуйской (восточная часть), Надымской, Надым-Пуровской и Пур-Тазовской (западная часть) ландшафтных провинций (Сизов, 2008, 2015). Основные массивы незакрепленных песков приурочены к террасовым комплексам крупных рек – Хейгияха, Лев. Хетта, Надым, Пякупур, Пурпе, Айваседапур, Пур, а также к водоразделам рек Надым и Пякупур, Пякупур и Айваседапур. Наиболее крупные массивы песков расположены в правобережье реки Надым (Атлас, 2004; Сизов, 2008).

1.2 Генезис естественных эоловых образований

Условия формирования эолового рельефа вызывают интерес у многих исследователей не только в России, но и Аляске, Канаде и Европе. Большое количество работ зарубежных авторов посвящено песчаным массивам, приуроченным к областям развития оледенений и территориям, прилегающим к ним. Развитие эоловых форм здесь связывают с ветровой переработкой во время оледенений территории в течение четвертичного периода (Tuck, 1940; Van Alstine, Black, 1944; Wallace, 1948; Pewe et al., 1953). На примере дюнных комплексов Норвегии стало известно, что ветровой переработке подвергаются ледниковые, флювиогляциальные и флювиальные отложения (Smith, 1939; Klemsdal, 1969).

О происхождении эоловых форм на территории криолитозоны России писали многие исследователи. Так тукуланы южной Якутии, мощностью 40–80 м, названы «палеогеографическим реликтом», так как сложены древнеаллювиальными песками юры и мела (Зольников, Попова, 1957; Куваев, 1966; Павлов, 1981; Самсонова, Васильев, 2000; Куть, 2014).

Современные тукуланы, занимавших ранее значительные площади Центральной и Северной Якутии, являются реликтами специфических плейстоценовых мерзлотных пустынь (Медянцев, 1962).

В Забайкалье и Прибайкалье накопление эоловых песков происходило в верхнем плейстоцене (Олюнин, 1961; Иванов, 1966; Шевченко, 1979; Кренделев, 1983). В.Б. Выркин на основании описания множества разрезов сделал вывод о том, что дюнные массивы в Прибайкалье и Забайкалье сложены преимущественно молодыми осадками, возраст которых составляет 2–3 тыс. лет (Выркин, 1998). Он также отметил, что этапы активизации эоловых процессов относятся к позднему плейстоцену и голоцену к фазам аридизации климата.

Дюны Большеземельской тундры и Печорской низменности сложены поздне ледниковыми осадками, представленными песками флювиогляциального и озерно-ледникового происхождения (Краснов, 1947). Пески Тимано-Печорской низменности О.А. Никольская описала как озерные (Никольская, 2006). Это предположение было опровергнуто в работе В.И. Астахова (2009) на основании текстурного описания разрезов. Основная масса эоловых отложений накопилась в условиях полярной пустыни от 24 до 11,5 тыс. л.н., которое было прервано относительным потеплением в интервале 15–12 тыс. л.н. (Астахов, Свенсен, 2011).

О.И. Баженова и др. (1997) возраст эоловых образований Восточной Сибири определяют, как позднеплейстоцен-голоценовый и голоценовый.

Возраст эоловых отложений юго-востока Западно - Сибирской равнины также датируется как позднеплейстоцен-голоценовый (Земцов, 1976; Евсеева, Головеров, 1984; Сильвестров, 1997; Зыкин, 2012).

Близость холодных морей обусловила особые климатические условия на севере Западной Сибири не только в современный период геологической истории.

По мнению, Величко А.А. озерно-болотные системы Западной Сибири залегают на древней поздне ледниковой песчаной пустыне. Переотложению здесь подверглись морские и ледниковые осадки. Причем их активизация происходила, начиная с 18–20 тыс. л.н. (Величко, Тимирева, 2007)

Результаты исследования морфологии кварцевых зерен показали общие черты сходства формы и поверхности зерен с теми, которые формировались в пустыне. Это свидетельствует о фазе активных эоловых процессов на заключительном этапе формирования поверхности Западно - Сибирской равнины. Высокой степени аридизации и росту эоловых процессов способствовало так же распространение в течение большей части года морских льдов не только в Северном Ледовитом океане, но и в Северной Атлантике, что приводило к существенному сокращению осадков, особенно в восточной (сибирской) части Евразии. С этим же явлением связано и усиление роли Восточно-Сибирского антициклона, который расширился в эпоху резкого позднеплейстоценового глобального похолодания и максимального распространения области многолетней мерзлоты (Величко, Тимирева, 2007).

В создавшихся климатических условиях территория Западной Сибири оказывалась в зоне экстремальной аридизации, входившей в область многолетней мерзлоты. Пространства центра и севера Западной Сибири, с преимущественно песчаными отложениями, находились в обстановке, благоприятствовавшей развитию активных эоловых процессов, о чем свидетельствуют результаты морфоскопических исследований. Таким образом, в Западной Сибири в позднеледниковье существовала холодная пустыня (Величко, Тимирева, 2007).

Ряд ученых (Зыкина, Зыкин, 2017) установили возраст четвертичных отложений и историю их формирования на территории Надымского Приобья Западной Сибири. В изученном разрезе Надымского Приобья, включающем отложения второй половины верхнего плейстоцена и голоцена, они обозначили четыре этапа развития природной среды, разделенные длительными перерывами.

Первый этап отражает развитие Надымского Приобья вовремя формирования аллювия второй надпойменной террасы в каргинское время, в интервале от 42 до 25 тыс., лет назад. Климатические условия образования речных отложений были близки к современным.

Второй этап развития природной среды, соответствующий формированию полигональных морозобойных структур, заполнению их эоловым песчаным

материалом и образованию дефляционной поверхности, происходил в значительно более суровых климатических условиях. Стратиграфическое положение первичных песчаных клиньев выше аллювия второй надпойменной террасы и корреляция климатических событий в Надымском Приобье с аналогичной последовательностью событий в Сибири (Астахов, 2006; Величко и др, 2007; Зыкина, Зыкин, 2012) позволяет относить их ко времени последнего сартанского оледенения. Появление криогенных структур в Надымском Приобье, по- видимому, соответствует началу сильнейшего похолодания и иссушения климата на севере Сибири около 23 тыс., лет назад (Astakhov, 2013). Как было рассмотрено выше, по представлениям А.А. Величко с соавторами (2007), в это время в северной части Западной Сибири существовали обширные холодные пустыни, в которых формировались песчаные эоловые отложения.

Третий этап развития Надымского Приобья связан с формированием первой террасы долины р. Надым и ее притоков и образованием торфяников в голоцене. Заболачивание этой территории, как и всего севера Западной Сибири, по данным радиоуглеродного датирования, началось в начале голоцена, около 10.7 10.3 тыс., лет назад (Величко и др, 2007).

Четвертый этап развития природной среды Надымского Приобья связан с формированием массивов эоловых песков на поверхностях второй и первой террас р. Надым в позднем голоцене в последние 1200 лет. Формирование массивов эоловых песков в Надымском Приобье по времени совпадает с образованием позднеголоценовых эоловых песчаных дюн на Предалтайской равнине Западной Сибири (Зыкин и др, 2011).

Формирование эоловых отложений в пределах севера Западной Сибири и других сибирских регионов имеет схожие черты. Это связано с общими климатическими изменениями и активизацией эоловых процессов в позднем неоплейстоцене и раннем голоцене. На территории Западной Сибири выделяют по меньшей мере два этапа аридизации климата: в максимум сартанского похолодания (позже 21-22 тыс. лет назад) и в конце позднеледникового - предбореального времени (10-9 тыс. лет назад) (Волков 1976, 1979).

1.3 Сукцессии растительности на песчаных раздувах

Возникновение и распространение эоловых форм зависит от определенных природных и антропогенных факторов (Сизов, 2008). Дальнейшее развитие определяется сукцессионными процессами.

Сукцессия – это последовательная закономерная смена одного биологического сообщества другим на определенном участке среды во времени в результате влияния природных факторов или воздействия человека (Клементс, 1874; Сукачев (1880-1967); Разумовский; Одум, 1986; Работнов, 1992).

В литературе имеется довольно много сведений о классификации сукцессий, происхождении, причинах, способствующих ходу сукцессии.

Первым теорию сукцессий ввел F.E. Clements. Целостную природу сукцессий он охарактеризовал в своей гипотезе «суперорганизма» (Clements, 1916). Он считал, что каждый фитоценоз проходит первичную или вторичную сукцессию, которые следуют программе, обусловленной изменением абиотической среды под влиянием жизнедеятельности сообществ. В результате этого в однородных климатических условиях все сообщества конвергируют в единый путь, называемые климатическим моноклиматом.

Позднее особый интерес вызвала популяционная концепция в изучении сукцессий (Begon, 1996; Смирнова, 1998, 2008; Brooks, 2000 и др.) Основы этой концепции были заложены Глисоном (1927). Особое внимание уделяется проблемам организации сообществ и взаимодействию между организмами, динамике численности популяций. Но при этом игнорировалась роль потока веществ, энергетических взаимосвязей и взаимодействия между живыми и неживыми компонентами системы.

В современной экологии сукцессия более широкое понятие о процессе сукцессий, под которым понимается постепенное изменение видового состава сообщества под влиянием внутренних или внешних факторов. Изменения происходят вплоть до кульминации его развития – возникновения стабилизированной системы, называемую климаксовым сообществом.

Наиболее понятное изложение концепции сукцессий дал Ю. Одум (1975), выдвинув следующие положения:

1. Сукцессия связана с фундаментальным сдвигом потока энергии в сторону увеличения количества энергии, направленной на поддержание системы
2. Сукцессия – это упорядоченный процесс развития сообщества, который имеет определенное направление, а, следовательно, сукцессия предсказуема.
3. Сукцессия происходит в результате модификации среды сообществом, то есть сукцессия контролируется сообществом.
4. Кульминацией сукцессии является зрелое стабильное сообщество, в котором на единицу доступного потока энергии достигается максимальная биомасса.

Выделяют первичную и вторичную сукцессии (Clements, 1916; Работнов, 1978; Миркин, Наумова, 2002 и др.). Согласно Работнову (1978) при первичной сукцессии фитоценозы формируются на субстратах, пригодных к заселению. Это могут быть скальные породы, эоловые отложения, дно морей и озер, обнажения различного генезиса. После заселения растениями, животными, микроорганизмами сукцессия проходит несколько стадий до образования климаксового или субклимаксового фитоценоза.

Вторичные сукцессии возникают на месте уничтоженного фитоценоза, под воздействием каких-либо внешних или внутренних факторов. При вторичной сукцессии возникает новый фитоценоз и сменяется в последующих стадиях в направлении к климаксу в соответствии с экотопическими условиями среды. Вторичные сукцессии отличаются от первичных тем, что они возникают уже на сформированном почвенно-субстрате с микроорганизмами и семенами. Поэтому вторичные сукцессии протекают достаточно быстро.

Современная классификация сукцессий включает также и другие характерные особенности возникновения и прохождения всех стадий до климаксового сообщества (Сукачёв, 1964; Раменский, 1971; Миркин, Наумова, Соломец, 2002 и др.). Основные направления отражены в таблице 1.

Таблица 1 – Классификация сукцессий фитоценозов (по Миркину, Наумовой, Соломец, 2002)

Варианты	Типы и подтипы сукцессий			
	Автогенные		Аллогенные	
	Сингенез	Эндозоогенез	Гейтогенез	Гологенез
<i>По масштабу времени</i>				
Быстрые (десятилетия)	+	-	+	-
Средние (столетия)	-	+	+	+
Медленные (тысячелетия)	-	+	-	+
Очень медленные (десятки тысяч лет)	-	+	-	+
<i>По обратимости</i>				
Обратимые	-	-	+	+
Необратимые	+	+	+	+
<i>По степени постоянства процесса</i>				
Постоянные	+	+	+	+
Непостоянные	-	-	+	+
<i>По происхождению</i>				
Первичные	+	+	-	-
Вторичные	+	+	-	-
<i>По тенденции изменения продуктивности</i>				
Прогрессивные	+	+	+	+
Регрессивные	+	+	+	+
<i>По тенденции изменения видового состава</i>				
Прогрессивные	+	+	+	+
Регрессивные	+	+	+	+
<i>По антропогенности</i>				
Антропогенные	+	+	+	+
Природные	+	+	+	+

По мнению ряда авторов (Clements, 1916; Работнов, 1978; Миркин, Наумова, 2002, Дымова, 2016) при автогенных сукцессиях растительность воздействует на среду, изменяя её и способствуя тем самым внедрению новых конкурентных видов. Таким образом, смена стадий фитоценозов происходит под воздействием внутренних факторов. Аллогенные (экзогенные) смены фитоценозов происходят под воздействием внешних факторов по отношению к фитоценозу. Такими факторами могут служить как природные, так и антропогенные.

Автогенные сукцессии включают в себя два типа – это *сингенез* (сукцессии на месте исходного фитоценоза формируется новый) и *эндоэкогенез* (под влиянием размножения и расселения растений определяется изменение среды).

Аллогенные сукцессии включают так же два типа – это *гейтогенез* (изменение сообществ под влиянием загрязнения (эвтрофикация озёр); радиации (усыхание деревьев); удобрения лугов (повышение продуктивности и снижение видового богатства) и *гологенез* (когда внешний фактор действует на изменение фитоценоза в пределах целого ландшафта).

К экзогенетическим сукцессиям относятся:

- 1) Антропогенные (под действием человека);
- 2) Зоогенные (под действием деятельности животных и насекомых);
- 3) Пирогенные (под действием огня);
- 4) Эдафогенные (под действием изменения почвы).

Также сукцессии различают по масштабу времени, по обратимости, по степени постоянства процесса, по происхождению, по изменению продуктивности, видового состава и по антропогенности (таблица 1).

Исследования основных типов сукцессионных процессов оголенных песков различного генезиса занимались многие ученые в разных уголках и на территории России так и зарубежом.

В пределах севера Западной Сибири песчаные обнажения техногенного происхождения наиболее изучены на территории Ямальской тундры и лесотундры. Особое внимание ученые уделяли техногенному воздействию, разрушающему почву и растительный покров тундры, способствующие резкой активизации процессов дефляции (Мельцер, Московченко, 1996; Москаленко, 1999; Тентюков, 2008). Для исследователей остается интересным изучение реакции лишайников, особенности изменения видового состава лишенофлоры по мере развития дефляции при техногенных нарушениях и последующим восстановлением нарушенных земель, при этом уделяя большее внимание сукцессионным сменам растительности, опираясь на доминантную

классификацию растительности (Телятников, Пристяжнюк, 1995; Магомедова, Морозова, 1997; Пристяжнюк, 1997, Телятников, 2003; Эктовой, 2008).

На приводораздельных поверхностях тундр Ямала при развитии процессов дефляции динамические смены растительности имеют продолжительность от нескольких десятков до первых сотен лет. На постоянно подвижных песчаных субстратах направление сукцессии определяется интенсивностью развития дефляции и динамические смены растительности могут менять свое направление от демутации до дигрессии. При этом видовая насыщенность линейно снижается. Видовое богатство на начальных стадиях дефляции повышается за счет вселения случайных видов (Ермохина, 2009).

При формировании растительности в естественных условиях на техногенных грунтах, карьерных выработок в условиях лесотундры Крайнего севера, первичная сукцессия развивается по типу «псаммосерии», которая инициируется поселением высших растений. Важнейшей особенностью техногенных сукцессий является отсутствие или чрезвычайно малая роль в группировках первых стадий восстановления растительности мхов, лишайников, кустарников и кустарничков. Скорость формирования ценозов измеряется десятилетиями и зависит от условий абиотической среды (положения в рельефе, исходного типа растительности, характер субстрата, условия увлажнения, времени зарастания) (Игошева 1991, 2007; Магомедова, 2002; Копцева, 2005).

В исследованиях оголенных песков, нарушенных территорий отмечается, что заселение техногенных местообитаний идет за счет ресурсов местной флоры. Примечательно так же то, что в разных районах видовой состав своеобразен и для каждого района характерен свой набор видов-колонистов. Пионерные группировки первичных сукцессий в условиях лесотундры и южных гипоарктических тундр при низком общем проективном покрытии оказываются сомкнутыми в подземной сфере, что выделяет их как растительные сообщества. В ходе первичной сукцессии изменения сообществ протекают постепенно: происходит обогащение видового состава, меняется обилие и состав доминирующих видов, усложняется пространственная структура. На инициальной

стадии вместе с пионерными травами нередко встречаются кустарники (ивы) и мхи. Через 10 лет заметно увеличивается доля деревянистых растений, причем кустарнички появляются позднее других. После 30 лет зарастания сомкнутость сообществ и состав основных доминантов меняются мало, однако преобразования видового состава, обилия видов, спектра жизненных форм, набора содоминантов, структуры покрова – продолжают (Сумина, 2011).

Известно также, что при зарастании техногенных участков в подзоне средней тайги европейского севера-востока России активны в основном луговые и сорные виды (*Calamagrotis epigeios*, *Deschampsia cespitosa*, *Phleum pratense* L., *Poa pratensis*, *Cirsium setosum*, *Hieracium umbellatum* L., *Leontodon autumnalis* L., *Leucanthemum vulgare* Lam., *Chamaenerion angustifolium* и др.) (Лиханов, Железнова, 2012).

Наряду исследований естественного восстановления в лесотундре и тундре Крайнего севера Ямала, также наиболее хорошо изучены процессы естественного восстановления растительности на песчаных карьерах в средней и северной тайге Западной Сибири (Шилова, 1977; Коронатова, 2004; Коркина, 2005). В сходных условиях их можно рассматривать в качестве искусственных аналогов первичных котловин выдувания.

Зарастание карьеров происходит в среднем от 5 до 18 лет. И.И. Шилова (1977) выделяет 4 стадии восстановления растительности:

1. Стадия единичных травянистых растений-пионеров, а также проростки сосны и березы, и эктопических группировок в первые 1-2 года.
2. Образование открытых фитоценозов на 3-4 год.
3. Образование сомкнутых фитоценозов на 5-8 год.
4. Формирование замкнутых фитоценозов зонального типа на 9-12 год.

Закономерности антропогенных сукцессий в различных природных зонах севера Западной Сибири изучила Москаленко Н.Г., 1991. В результате исследований ей было установлено, что при движении с севера на юг сокращается длительность стадий сукцессий и за один и тот же временной отрезок можно наблюдать большее количество стадий.

Данных по наблюдениям за естественным зарастанием песчаных обнажений природного происхождения на территории северной тайги Западной Сибири практически отсутствуют. Наблюдений за естественным зарастанием песчаных обнажений техногенного происхождения тоже немного. Были изучены сосудистые растения, лишайники и мхи в сукцессиях на песчаных обнажениях карьерных выработок и особенности их зарастания в зоне лесотундры и частично северной тайги Западной Сибири. В результате проведенных исследований было установлено, что на начальных стадиях зарастания песчаного субстрата техногенных и природно-техногенных песчаных обнажений появляется небольшое число видов высших растений и лишайников коренных или вторичных биоценозов – от 2 до 11 видов, являющиеся в основном анемо-или зоохорными корневищными, или плотно дерновинными широко распространенными травами или кустарничками (Капитонова, Селиванов, Капитонов, 2016).

На территории Забайкалья экологические ряды закрепления песчаных массивов отражают естественную динамику зарастания песков и составлены следующими стадиями: голых песков → с доминированием однолетних растений → с доминированием длиннокорневищных растений → с доминированием стержнекорневых многолетних растений и полукустарничков → гемипсаммофитных степей, зарослей кустарников и ильмовых редколесий. Ведущим фактором в формировании разнообразия растительных сообществ песков Забайкалья выступает гетерогенность форм эолового рельефа (Дулепова, 2014).

Несмотря на глубокий анализ данного вопроса, он остается недостаточно изученным. В работах многих ученых освещены только особенности зарастания техногенных песчаных пустошей. Так, изучение восстановления растительности и взаимосвязь с экологическими факторами на естественных природных песчаных пустошах в подзоне северной тайги Западной Сибири до настоящего времени остается практически не изученным. Это делает настоящую работу более значимой, актуальной и уникальной.

Глава 2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Объекты исследования

В административном отношении изучаемая территория расположена в пределах Надымского района Ямало-Ненецкого автономного округа в 30 км на юго-восток от города Надым. Это один из основных районов нефтегазодобычи, относящийся к Нурминско-Александровскому нефтегазоносному поясу, а также к Надымской нефтегазоносной области. В орографическом отношении район исследований включает Надымскую низменность (Атлас Т.О., 2004).

По физико-географическому районированию Западной Сибири исследуемая территория располагается в Надымской провинции лесной равнинной широтно-зональной области Западно-Сибирской равнины. Надымская провинция расположена в северной тайге (Гвоздецкий, 1973).

Район исследований обладает особой мозаичностью и уникальностью природных ландшафтов. Площадки исследования располагаются в денудационно-эоловом типе местности, что для северной тайги Западной Сибири является не типичным и интразональным. Преобладающие ландшафты данной местности представляют собой экосистемы автоморфных и гидроморфных природных комплексов. Исследуемые песчаные раздувы расположены на второй надпойменной террасе р. Надым в пределах лесных террасовых дренированных ландшафтов (рис.4, приложение 1).

Объектами исследования является растительность песчаных обнажений (пустошей).

Песчаные обнажения (пустоши) на севере Западной Сибири представлены тремя генетическими разностями – природного (естественного), природно-антропогенного и антропогенного (техногенного) происхождения (Котлов, 1978).

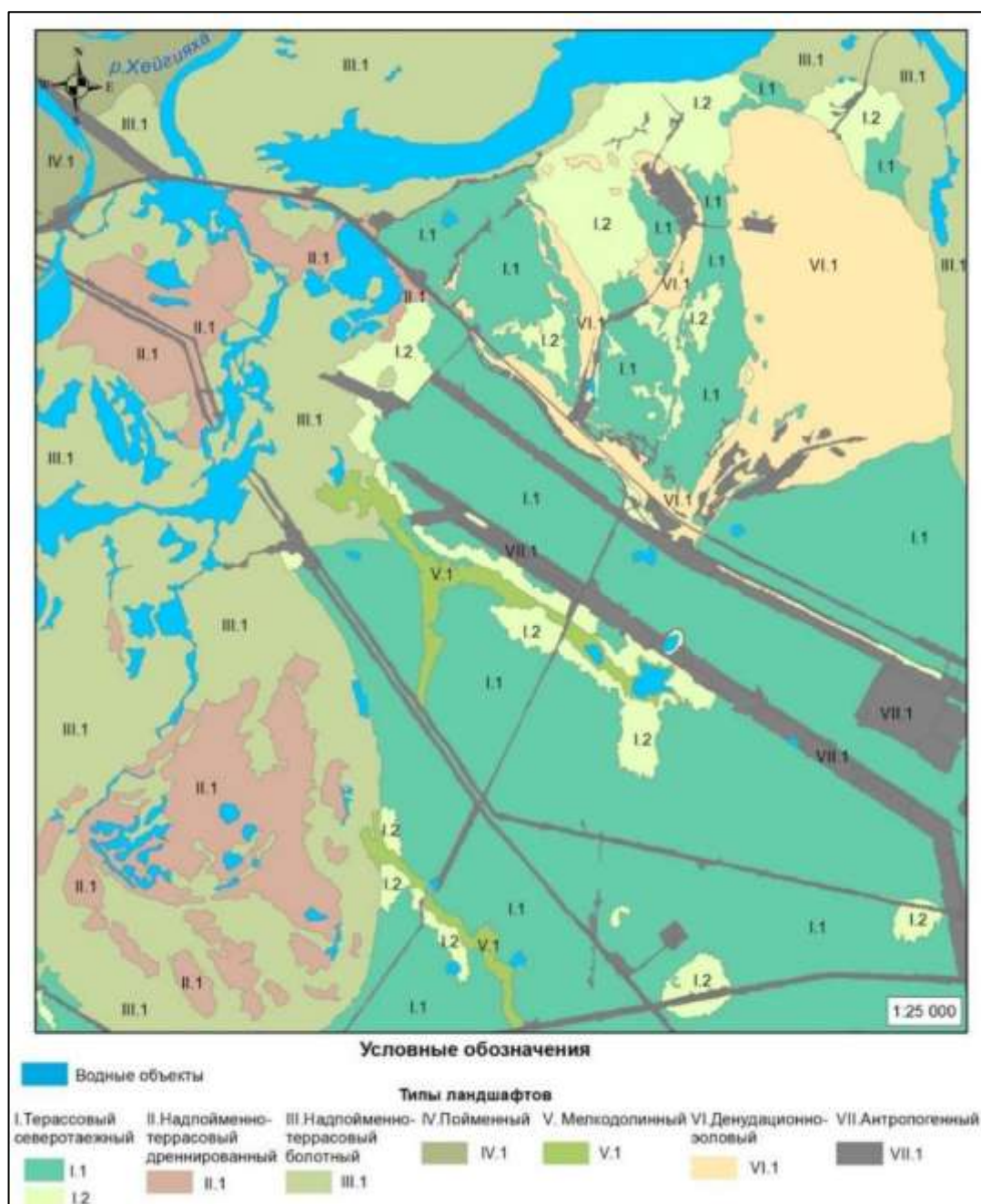


Рис.4 – Ландшафты района исследований (составлена автором по данным Атласа ЯНАО, 2004; полевым данным, космоснимкам Sentinel (10m) и Яндекс, Google Earth; таблица с наименованием ландшафтов в приложении 1)

Природные пески плейстоцена имеют повсеместное распространение в Арктической зоне Западной Сибири. Эоловый рельеф природного генезиса морфологически выражен большей частью в виде котловин выдувания, на поверхности и по периферии, которых нередко формируются аккумулятивные формы – валы, бугры, дюнные цепи, барханы (рис. 5).



Рис. 5 – Природный песчаный раздув в среднем течение реки Надым, Надымский район, ЯНАО (фото Соромотина А.В., 2015 г.)

Природно-антропогенные песчаные обнажения формируются при активизации эолового процесса в районах распространения естественных песчаных обнажений при минерализации почвенного покрова в результате строительства промышленных объектов. Наиболее типичными случаями активизации дефляции наблюдаются при строительстве линейных объектов на древних дюнах, поросших сосняками-беломошниками. В результате уничтожения лишайникового покрова в зоне временного отвода вдоль дорог и под трассами ЛЭП, пески обнажаются и формируют новые эоловые очаги.

Антропогенные песчаные пустоши формируются в результате нарушения естественного почвенно-растительного покрова при строительстве инфраструктурных и технологических объектов нефтегазодобывающего комплекса, вокруг населенных пунктов, вдоль автодорог. Техногенный рельеф представлен в основном сухойройными карьерами, грунтовыми насыпями автодорог, трубопроводов и промышленных площадок, а также нарушенными в результате проезда тяжелой техники участками.

Изучение эоловых процессов проводилось на примере одного из песчаных раздувов и на песчаных карьерах в августе с 2013 по 2018 годы (рис.6). Песчаный

раздув расположен на правом берегу р. Хейгияха (Лонгъюган) в нижнем течении (район Надымского стационара ИКЗ СО РАН, площадь – 240 км²).

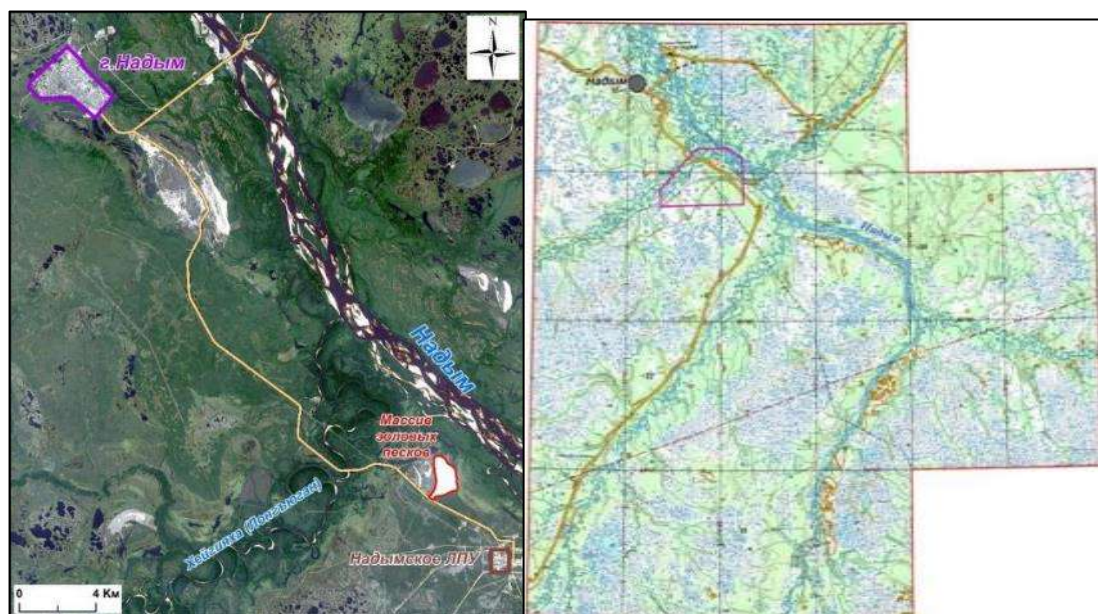


Рис. 6 – Обзорная космосхема расположения района работ (составлена Сизовым О.С., Google Earth).

В пределах песчаного раздува для отслеживания динамики растительности расположена 1 геоботаническая площадка 10x10 м², разделённая на микроучастки по 1 м², 30 геоботанических площадок размером 5x5 м², два геоботанических – ландшафтных профиля, 7 карьеров, 5 пробных площадок для выбора методики агротехнической и биологической рекультивации, включающих в себя 5 участков размером 1,6x1,6 м², 5 участков 1,6x2,0 м² и 4 участка размером 10x10 м² (рис.7).

Для определения наиболее эффективного метода рекультивации оголенных песков на пробных площадках реализуются различные технологические варианты восстановления растительности: с использованием травосмеси, с использованием торфа, с использованием биоматов, с использованием искусственного ветрозадержания (мелкоячеистая сетка в крест доминирующих ветров). Площадки с использованием биоматов в центральной части массива имеют в среднем размер 2x1,6 м и заложены с учетом особенностей эолового микрорельефа – на пологом склоне дюны, на крутом склоне и в междюнном понижении. Площадки в центральной части раздува заложены вблизи растительного профиля для контроля

и сравнения с естественной динамикой растительности. Площадки с использованием исключительно травосмеси заложены в восточной и северо-западной частях массива и имеют размер 10x10 м.

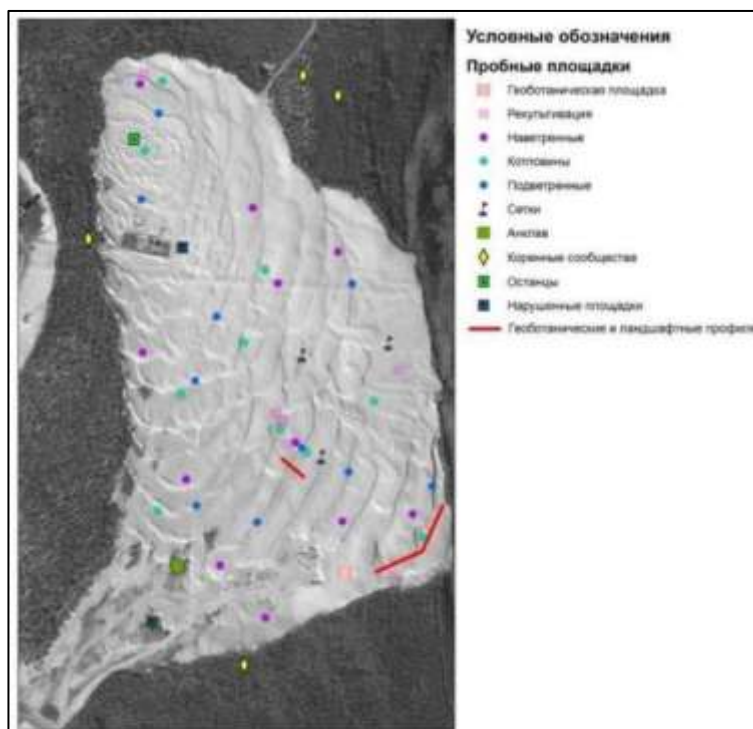


Рис. 7 – Схема расположение пробных площадок в пределах модельной котловины выдувания (составлена автором на основе космоснимков Яндекс)

Естественное восстановление растительности на антропогенных территориях изучалось на карьерных выработках, расположенных южнее объектов исследования вдоль автомобильной дороги «Надым-Ягельное», где в результате механических воздействий почвенный и растительный покров был уничтожен полностью. В ходе полевых экспедиций были обследованы 14 карьеров, в 7 из них проведены подробные геоботанические описания площадок размером 5x5 м² и отбор проб почвы для агрохимического анализа (рис. 8, 9, табл. 2). Для удобства описания для исследованных карьеров была введена условная нумерация с 1 по 7.



Рис. 8 – Обзорная космосхема расположения исследованных карьерных выработок (составлена автором, Google Earth)

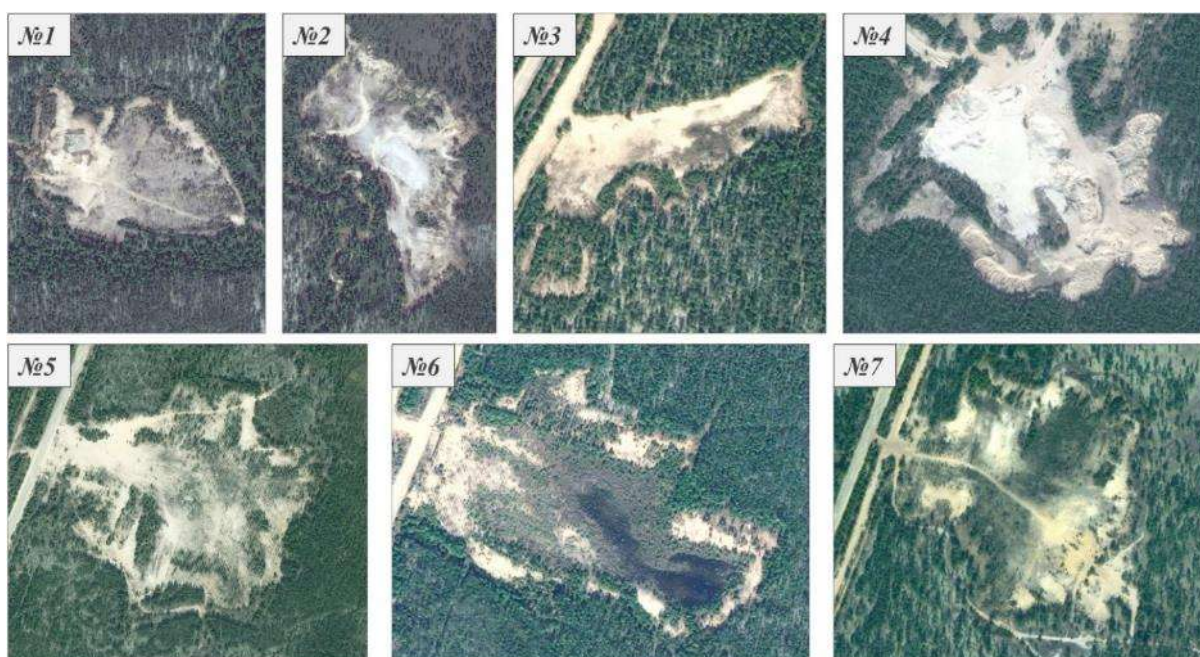


Рис. 9 – Современное состояние рассматриваемых песчаных карьеров, космическая съемка с сервиса Bing.

Таблица 2 – Характеристики исследуемых карьерных выработок.

Карьер, №	Год образования	Координаты	Площадь, га	Проектное покрытие, %	Вид рекультивации (год)	Тип фоновой растительности
1	1987	72°42'43,1»В; 64°51'58,4»С	2,15	10-20	Самозарастание, лесокультурные работы (2012)	Березово-лиственнично-сосновые лишайниковые леса
2	1987	72°43'15,4»В; 64°52'15,5»С	2,5	10-50	Самозарастание	Березово-лиственнично-сосновые лишайниковые леса
3	1986	72°56'36,3»В; 65°3'40,5»С	2	30-100	Самозарастание	Елово-лиственничные с примесью сосны, березы и кедра зеленомошные леса
4	1986	72°56'58,5»В; 65°3'45,2»С	8	5-7	Самозарастание	Елово-лиственничные с примесью сосны, березы и кедра зеленомошные леса
5	1986	73°6'25,4»В; 65°8'9,1»С	4,5	40-55	Самозарастание, лесокультурные работы (2012)	Березово-лиственнично-сосновые лишайниковые леса
6	1986	73°7'8,6»В; 65°9'0,8»С	4	60-75	Самозарастание, лесокультурные работы (2012)	Елово-лиственничные с примесью сосны, березы и кедра зеленомошные леса
7	1986	73°11'4,5»В; 65°15'33,1»С	3	20-25	Самозарастание, лесокультурные работы (2012)	Березово-лиственнично-сосновые лишайниковые леса

Для определения степени влияния климатических показателей как прямого экологического фактора условий зарастания песчаных пустошей на модельном раздуве проводились исследования микроклиматических условий. Исследование микроклимата проводились на трех основных формах поверхностей – вершина дюны, наветренная сторона и подветренная сторона (таблица 3, рис. 10).

Таблица 3 – Характеристика участков микроклиматических наблюдений на модельном раздуве

Площадка	Расположение	Дата наблюдений
Метео песок 1	Вершина песчаной дюны, травянистая растительность	13 августа 2018
Метео песок 2	Подветренный участок песчаной дюны, травянистая растительность	13 августа 2018
Метео песок 3	Наветренная сторона песчаной дюны, травянистая растительность отсутствует	16 августа 2018



Рис. 10 – Расположение площадок наблюдений за микроклиматом на модельном раздуве (Google Earth)

Для проведения замеров параметров микроклимата на каждом из указанных форм микрорельефа выбиралась ровная площадка размером 50x50 м на которой в шахматном порядке отмечались 15 равноудаленных друг от друга точек на которых производились измерения температуры поверхности (град. С°), температуры воздуха на высотах 0,5 м, 1,0 м, 1,5 м и 2 м (град. С°), относительной влажности воздуха (%), скорости ветра (м/с), давления (мм рт.ст.). Наблюдения проводились в один день друг за другом в течение 2-х часов.

2.2 Методы исследования

При проведении полевых и камеральных работ использовались специализированные методы, включающие комплексные физико-географические, аэрокосмические, картографирование, профилирование, стационарные наблюдения и геоинформационные, индикационные, геоботанические методы.

В ходе полевых работ на котловине выдувания и карьерах проводились геоморфологические, почвенные, ландшафтные наблюдения, описание растительности, измерение климатических параметров.

Методы изучения растительности. При проведении геоботанических описаний и подсчета наземной фитомассы использовались общепринятые методики (Полевая геоботаника, 1964; Воронов, 1973). Описание растительности

проводилось на пробных площадках, площадью 10х10 м², 5х5 м², 1х1 м², в отдельных случаях – в границах сообществ (рис. 11). На котловине выдувания были заложены геоботанические профили, дополнявшие исследования экологических условий (мезо- и микрорельефа, экспозицию и угол наклона поверхности, водно-физических и химических свойств почв).



Рис. 11 – Геоботаническое описание пробной площадки (фото Сизов О.С., 2017 г.)

Профильные ходы размещались от наветренных склонов дюн до котловин между дюнами. Ширина профилей – 5 м, через каждые 10 м закладывались 25 метровые пробные площадки, на которых описывался фитоценоз. В основе исследования фитоценоза применялся анализ растительного покрова, включающий составление списка растительности с учётом ярусности, фенофазы, жизненности и характера распространения. В сообществах отмечалось максимум три яруса - мохово-лишайниковый, травяно-кустарничковый и древесно-кустарничковый. В каждом ярусе определялось обилие видов по шкале Друде (Раменский, Воронов, 1973), средняя высота растений и общее проективное покрытие. Для определения проективного покрытия использовалась сетка Раменского. За время полевых исследований проведено 604 описания. Растения определены с помощью определителей – Крылов ,1927-1964; Флора Сибири, 1988-1997; Арктическая флора СССР,1983, 1984. Название видов приведены в

соответствии с современной номенклатурой: сосудистые растения- С.К. Черепанов, 1995. Определение мхов и лишайников согласно указаниям по определителям: Абрамов, 1971, 1975, 1978; Шляков, 1979,1980,1981,1982; Игнатов, Афолина, 1992; Афолина, Чернядьева, 1995; Голубкова, 1996; Абрамов и др., 1998, Определитель..., 1971-1978, 1996-1998, Andreev et al, 1996, Константинова, 200; Чернядьева, 2000, атлас-определитель растений и лишайников России и сопредельных стран 2007-2020 – www.plantarium.ru. После определения всех собранных видов и дополнения полевых описаний, описания растительных сообществ были сведены в единую сводную таблицу для дальнейшей обработки.

На основании исследований проводилась типизация растительных сообществ при помощи традиционного подхода для русских геоботаников, базирующийся на доминирующих видах основных ярусов и учитывающий их характерные виды (Шенников, 1964; Катенин, 1972а, 1972б; Матвеева 1978, 1985; Паянская-Гвоздева, 1990).

Отнесение растительности к географическим группам основано на принципах, изложенных в работе А.И. Толмачёва (1974) и на анализе полных ареалов видов (Ребристая, 1977; Юрцев и др., 1978). При выделении биоморф флоры руководствовались классификацией жизненных форм по И.Г. Серебрякову (1962). В основу анализа биологических типов положена классификация по Раункиеру.

Полевые опыты по исследованию основных методов рекультивации оголенных песков были использованы на модельном песчаном раздуве. Площадки были расположены в восточной, центральной и северо-западной частях модельного раздува на различных элементах микрорельефа.

На все трех площадках были использованы разные технологии рекультивации открытых песков. Согласно литературным данным (Коронатова, 2004; Игловилов, 2012) и практическим исследованиям, основными методами для сухоройных карьеров являются:

– демулационный (внесение травосмесь и комплексных удобрений в голый грунт);

– с применением торфа с последующим перемешиванием с песком;

– с укладкой биомата БТ-СО/100.

В течение последующих годов (2017, 2018) были проведены геоботанические описания пробных площадок.

Стационарные наблюдение и профилирование, повторное крупномасштабное картографирование растительного покрова позволили изучить естественную динамику растительности.

Методы исследования почв. Для получения более полной информации о состоянии экосистем песчаных обнажений дополнительно проводились почвенные исследования. Отбор проб и описание разрезов производился на котловине и карьерах. Высушенные образцы были отправлены в лабораторию «РАЦ» в г. Тюмень и лабораторию института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН в г. Пушкино на определение гранулометрического состава, кислотности водной и солевой вытяжек (потенциометрический метод (рН-метр Mettler TOLEDO, Seven Easy pH (Швейцария)), гидролитической кислотности (по Каппену (потенциометрический)), обменная кислотность и обменные H^+ и Al^{3+} (по Соколову), P_2O_5 – по Кирсанову (спектрофотометр UNICO-1200, США, 2012), K_2O – метод пламенной фотометрии (пламенный фотометр BWB-XP Perfomance Plus, BWB-Technologies, Великобритания), содержание гумуса (гравиметрический), Сорг – титриметрический вариант метода Тюрина с окислением в термостате при $T=140^{\circ}C$, ОВП – Лабораторный иономер И-160МИ (Россия), суммы обменных оснований, оксиды, химический состав – содержание элементов: Ca, Mg, P, K, N и C.

Полевая влажность почвы определялась по методике Муравьева (2008). Определение полевой влажности почвы позволяет установить общее количество воды (во всех ее формах), содержащееся в почве в момент изъятия пробы. Отбор пробы производится в поле ножом из стенки разреза или почвенным буром в

специальный стаканчик (алюминиевый бюкс). Пробы отбирают по горизонтам почвы, или регулярно, через каждые 5-10 см. Если надо взять одну пробу из большого по мощности горизонта (из слоя 50 см), то ее отбирают из середины его или по несколько граммов из средней, верхней и нижней частей.

Порядок работы:

1. На технических весах определяют массу металлического бюкса с крышкой.

2. Наполняют 1/3 часть бюкса почвой и закрывают крышкой (в таком виде образец можно сохранять не более 1-2 ч).

3. Определяют массу бюкса с почвой и помещают его в термостат при температуре 100-105°C. Крышку при этом снимают и надевают на дно бюкса. Сушить почву следует до постоянного веса (обычно процесс занимает около 6 ч).

4. Окончание сушки почвы определяют следующим образом. Через 2 ч после начала сушки бюкс вынимают, охлаждают в эксикаторе (5-10 мин) и взвешивают. Затем просушивают снова в течение 2 ч, охлаждают и взвешивают. Если вес стаканчика остался постоянным (или разница не превышает 5 %), просушивание заканчивают, в противном случае операцию повторяют еще раз.

5. Полевую влажность (WП) вычисляют по формуле:

$$\frac{P1 - P2}{P2 - P0} * 100\%$$

где P1 – масса бюкса с почвой до высушивания;

P2 - масса бюкса с почвой после высушивания;

P0 - масса бюкса без почвы.

Оборудование: металлические бюксы с крышками, термостат, эксикатор, заполненный хлоридом кальция CaCl₂, технические веса.

Методы исследования температурного режима почвы

При проведении исследований температурного режима почвы использовался инфракрасный термометр DT-8663.

Картографические методы исследования растительности. Для ретроспективного анализа состояния участков развеваемых песков, а также для

обзорного и детального картирования использовались разновременные дистанционные данные – аэрофото- и космические снимки среднего и сверхвысокого разрешения, полученные из открытых источников.

Исходное состояние территории, полученные со спутника KH-4B 1104 21 августа 1968 г. (программа видовой разведки США Corona, NSSDC ID 1968-065A (<http://nssdc.gsfc.nasa.gov>)). Панхроматические данные после геопривязки и радиометрической коррекции по детальности изображения соответствуют пространственному разрешению 2-2.5 м/пикс.

Обзорное картирование участков разведываемых песков и региональный анализ естественных изменений выполнялись на основе мультиспектральных снимков Landsat-5/7, полученных 2 июля 1987 г., 5 июля 1988 г., 3 августа 2001 г. и 25 июля 2013 г.

Детальное картирование ключевых участков выполнялось на основе снимков сверхвысокого разрешения (0.5-0.7 м/пикс) со спутников WorldView-2 и Pleiades-1. Высокие геометрические и яркостные характеристики данных позволяют использовать их в качестве пространственной основы для интегрирования результатов полевых работ и детального картирования микрорельефа котловин выдувания. Также были использованы ортофотоснимки 1953 года и снимки со спутника Яндекс 2015 года.

Основная информация при составлении крупномасштабной (М 1:25 000) ландшафтно-типологической карты извлекалась из космоснимков в процессе ландшафтно-индикационного дешифрирования, опирающегося на тесную взаимосвязь компонентов ландшафтных комплексов (ПТК), а также смежных ПТК в пространстве и времени.

В процессе ландшафтно-индикационного дешифрирования, выявлялись взаимосвязи между ландшафтной структурой и процессами на местности и структурой их изображения на аэрофотоснимках. При этом использовались принцип фотоструктурного единства (ФСЕ) и методы ландшафтно-индикационных исследований (Козин, 1993; Дистанционные исследования

ландшафтов, 1987; Викторов, Чикишев, 1991; Дистанционные исследования и картографирование геосистем, 2002 и др.).

При составлении опорной ландшафтной карты учитывались следующие классификационные критерии:

- разнотипные ПТК обладают фотоструктурным единством, имеют четкие границы и обеспечены набором репрезентативных дешифровочных признаков;
- структурные элементы ПТК, компоненты природы, ресурсные категории обладают надежными корреляционными и функциональными связями;
- таксономия ПТК увязана с таксономией единиц тематического, оценочного и природоохранного картографирования.

Использованные в качестве основных единиц картографирования таксоны уровня типа местности и типа урочищ имеют устойчивые классификационно-диагностические признаки, обусловленные спецификой региона. Среди факторов естественной дифференциации типов местности ведущее значение имеют типы местоположений, генетическое и морфологическое сходство доминантных и характерных урочищ, тип сочетания ЛФК и степень дренированности территории.

Второй важнейшей единицей крупномасштабного картографирования является тип урочища. Тип урочища представляет собой закономерный комплекс фаций, достаточно хорошо обособленный в природе в связи с неровностями рельефа и неоднородным составом почв и грунтов [Мильков, 1966]. Определяющими свойствами в дифференциации типов урочищ являются растительность и микрорельеф при относительно однородном ЛФК. Ведущим факторальным признаком является структурно-динамическое единство подурочищ и фаций. При картографировании ландшафтов исследуемой территории нами использовались сложные урочища, включающие, как правило, несколько территориально смежных и динамически объединенных видов урочищ.

Методы исследования климата. Анализ климатических изменений основан на результатах ежесуточных метеонаблюдениях станции Надым, доступных с

незначительными перерывами с 1966 по 2017 г. через Автоматизированную Информационную Систему Обработки Режимной Информации (АИСОРИ).

Для проведения замеров параметров микроклимата использовались приборы:

- инфракрасный термометр (пирометра) с лазерным целеуказателем DT-8862 и термометр Tr 46908;
- измеритель параметров микроклимата «Метеоскоп-М».

Снегомерная съемка проводилась в апреле 2017 года на модельном песчаном раздуве. Измерение высоты снежного покрова и наличие песка определялось в 120 точках на 4 профилях.

Орографические методы. Работы по аэрофотосъемке песчаного раздува проводились с 17 по 20 августа 2018 года. Использовался компактный квадрокоптер MavicPro (управление осуществлялось с помощью штатного ПО компании DJI) (рис. 24). Полеты проходили в автоматическом режиме на высотах 50-150 м. при скоростях полета от 5 м/с до 12 м/с и температуре +7...+24°C.

Площадная съемка выполнялась с минимальным фокусным расстоянием (приоритет диафрагмы). Объективы камер в лабораторных условиях не калибровались, дисторсия устранялась программными средствами. Предварительная привязка снимков к местности проводилась методом синхронизации времени срабатывания затвора на камере с GPS-системой БПЛА. Данный метод чувствителен к настройке часов на камере, средний показатель погрешности привязки при этом составляет 5-7 метров.

Обработка результатов аэрофотосъемки (создание ортофотопланов, ЦММ, ЦМР) проводилось в ПО Agisoft Photoscan v.1.3. Более точная привязка итогового ортофотоплана осуществлялась с помощью опорных точек, полученных с космической съемки WorldView-3. Для моделирования рельефа дна использовались возможности интерполяции модуля 3D Analyst ПО ArcGIS.

Статистические методы. Для анализа полученных результатов наблюдений и аналитических данных использованы методы математической статистики. Это описательная статистика, сравнение средних показателей по

критерию Стьюдента (t-критерию), корреляционный анализ, регрессионный анализ. Выбранный уровень значимости 95 %. Для статистической обработки полученных данных использовались программы Statistica 6.0 ("StatSoft Inc."), Statgraphics, STATAN (Гашев, 2011), Microsoft Excel 2016. Данные методы позволяют достоверно изучить объект исследования и достигнуть решение поставленной цели и сопутствующих задач.

Глава 3 АНАЛИЗ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И СТРУКТУРЫ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ НА ПЕСЧАНОМ РАЗДУВЕ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

3.1 Анализ флоры и растительности

Растительность коренных сообществ. Таёжная зона занимает до 60% территории Западной Сибири и выделяется по преобладанию растительных сообществ бореального типа (Ильина, 1985).

Зона тайги делится на четыре подзоны: северная, средняя, южная тайга и подтайга.

Исследования проводились в подзоне северной тайги. Растительность Западной Сибири в целом изучалась многими учеными, которые рассматриваются в первой главе нашей работы.

В пределах северной тайги выделяется две широтные полосы. Для северной полосы характерно развитие редкостойных лиственничных, лиственнично-еловых и лиственнично-сосновых лесов. Наряду с лесами здесь расположены плоско- и крупнобугристые мохово-лишайниковые комплексные болота. В поймах крупных рек располагаются лугово-болотно-соровые растительные сообщества (Атлас Т.О., 1971; Ильина, 1985; Атлас ЯНАО, 2004).

В южной полосе подзоны северной тайги на плакорах распространены лиственнично-елово-кедровые леса. Здесь характерно широкое развитие кустарничково-мохово-лишайниковых, травяно-сфагновых и осоково-гипновых плоско- и крупнобугристых комплексных болот (Романова, 1965). Главными компонентами ряда заболачивания являются сосновые с кедром лишайниково-кустарничково-сфагновые леса и олиготрофные лишайниково-сфагновые болотно-озерные комплексы.

В северной полосе подзоны наибольшие площади заболочены (Болота..., 1976; Лисс и др., 2001). Наибольшее количество болот приурочено к плоским частям водоразделов и котловинам спущенных озер. Болота представляют собой

сочетание бугров и плоских понижений, отличающихся составом растительного покрова и степенью обводненности.

На хорошо дренированных приречных частях озерно-аллювиальных равнин преобладают березово-лиственничные и березово-сосновые кустарниково-лишайниковые редколесья, в сочетании с кустарничково-моховыми рединами (Ильина, 1985). Высота основных пород деревьев (сосна сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour), лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.)) достигает 7-12 м. Береза достигает высоты 3-8 м, образуя второй ярус. Напочвенный покров составлен лишайниками (кладония оленья (*Cladonia rangiferina* (L.) F. H. Wigg.), звёздчатая (*Cladonia stellaris* (Opiz) Pouzar et Vězda) в сочетании зеленых мхов – политрихум торчащий (*Polytrichum strictum* Brid.) и можжевельниковидный (*Polytrichum juniperinum* Hedw.), развивающихся по кронам деревьев. Кустарничковый ярус редкий, покрытие его достигает 10-30 %, под кронами деревьев возрастает до 40-70 %. Леса имеют бугристо-западинный рельеф. На буграх в кустарничковом ярусе преобладают брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea* L.), багульник болотный (*Ledum palustre* L.), вороника черная (*Empetrum nigrum* L.), голубика обыкновенная (*Vaccinium uliginosum* L.), толокнянка альпийская (*Arctous alpina* (L.) Nied.), а по западинам доминирует карликовая березка (*Betula nana* L.).

На плоских заболоченных участках развиты лиственничные морошково-багульниково-сфагновые редины с ярко выраженным микрорельефом: бугорки и кочки высотой 0,3-0,8 м с обводненными мочажинами (Ильина, 1985). В лесах редкий древесный ярус, имеющий сомкнутость 0,1. Основные породы деревьев это – лиственница сибирская, ель обыкновенная (*Picea abies* (L.) H. Karst.), сосна сибирская, сосна обыкновенная. Высота деревьев 3-7 м. Обычен сухостой, встречается подрост деревьев высотой 0,3-1 м. Сплошной напочвенный покров образован сфагновыми и гипновыми мхами, лишайниками. Травяно-кустарничковый ярус имеет покрытие 40-50 %, здесь преобладают багульник болотный и морошка обыкновенная (*Rubus chamaemorus* L.), часто встречается клюква болотная (*Oxycoccus palustris* Pers), карликовая березка, пушицы и осоки

(*Carex*). Выражена четкая мозаичность растительного покрова: на кочках и бугорках растет морошка и багульник, а на мочажинах пушица и осоки.

Сосновыми лесами в исследованном районе заняты небольшие площади. Основные типы фитоценозов отображены на геоботанической карте района исследований (рис.12), составленной по данным исследований Ильиной 1985г, Москаленко, 2009 и собственным наблюдениям. Они характерны для песчаных террас рек, где образуется смешанный древостой из сосны и березы. Вечная мерзлота под такими типами леса отсутствует. Сосновым лесам свойственен бугристо-западинный рельеф. К буграм высотой 0,5-1 м приурочены брусника обыкновенная, багульник болотный, а по западинам растет карликовая березка. Также присутствуют мелкие моховые кочки высотой 0,1-0,2 м.

В древесном ярусе преобладает сосна обыкновенная и береза извилистая (*Betula tortuosa* Ledeb.). Сомкнутость древостоя 0,2-0,4. В качестве примеси растет лиственница сибирская и сосна сибирская. Деревья достигают высоты в 6-10 м. Почти сплошным напочвенным покровом лежат лишайники (*Cladonia rangiferina*, *Cladonia alpicola*) с примесью *Pleurozium schreberi*. Среди кустарничков обильны брусника обыкновенная, багульник болотный, карликовая березка, голубика обыкновенная, вороника чёрная и черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus* L.). Проективное покрытие кустарничкового яруса примерно 40-50 %. Березово-елово-лиственничные травяные редкостойные и сомкнутые леса характерны для гривистых прирусловых пойм северной тайги, сложенными песками. Для пойменных лесов характерен гривистый рельеф. Гривы имеют высоту 1-3 м и ширину 6-10 м, разделяются понижениями.

На гривах лес более сомкнутый (0,3-0,7) с преобладанием хвойных пород, а в понижениях сомкнутость крон уменьшается и в древостое преобладает береза. Древесный ярус состоит из березы, лиственницы, ели с участием кедра, высотой до 8-17 м. Нередки поваленные деревья. Хорошо развит подлесок, состоящий из ольхи, ивы высотой 4-5 м, следующим ярусом растет шиповник (*Rosa*), жимолость (*Lonicera*) и можжевельник (*Juniperus*), высотой 0,8-1 м. Напочвенный покров очень редкий, общее проективное покрытие не превышает 10 %. На гривах

покрытие трав и кустарничков составляет 30-50 %, в понижениях до 70 %.

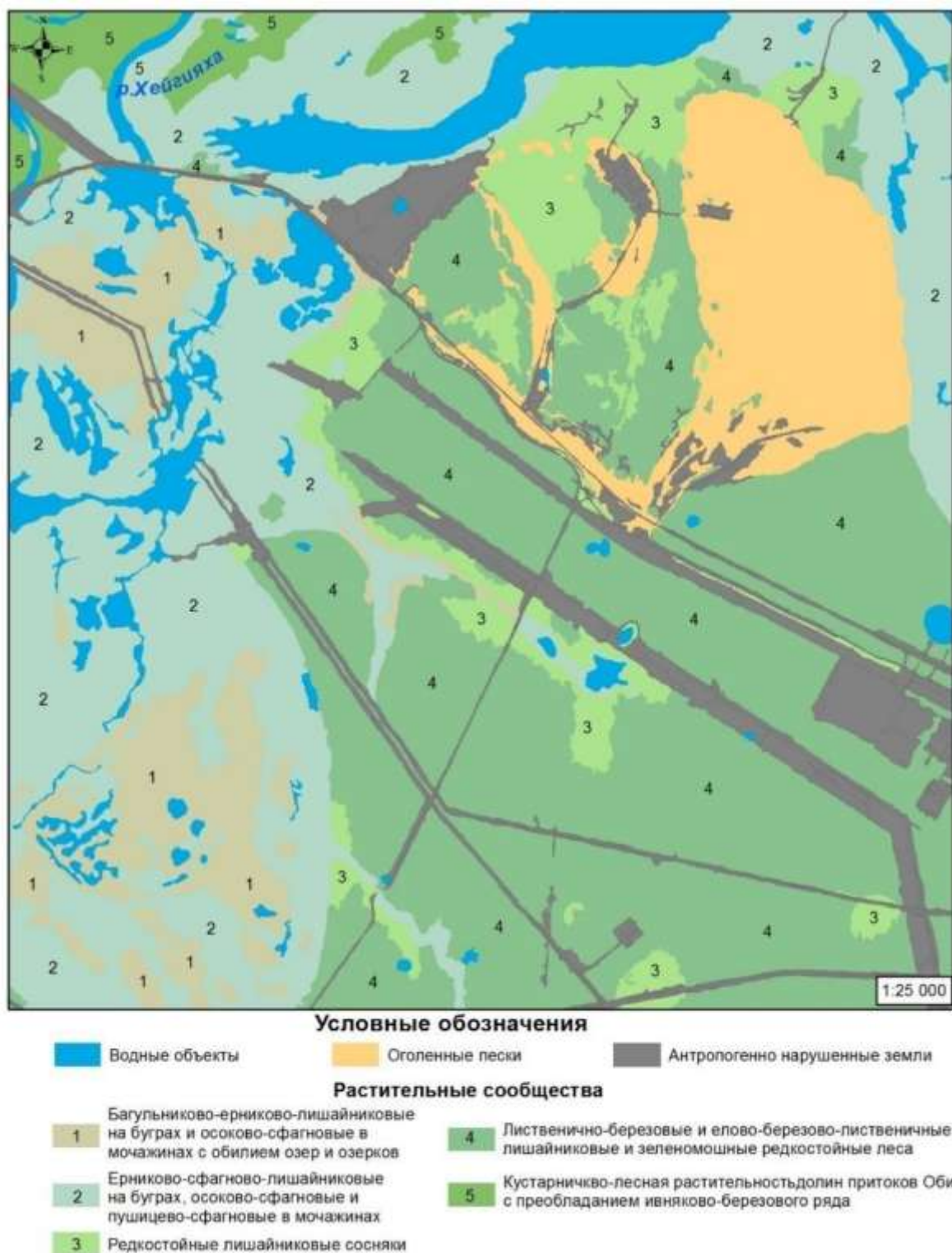


Рис.12 – Основные типы растительных сообществ района исследований.
(составлено автором по данным Атлас Т.О. ,1971; Ильина, 1985; Атлас, 2004; Москаленко, 2009)

В травяно-кустарничковом покрове можно выделить два яруса: первый ярус состоит из вейника высотой 0,5-0,7 м, а второй из княженики (*Rubus*), брусники, седмичника (*Trientalis*), высотой 0,05-0,15 м.

Для пушицево-осоково-сфагновых болот, расположенных на центральных и периферийных частях ложбин стока и заросших озерах равнин и пойм, характерен кочковатый микрорельеф. Кочки образуют редкие кустарнички, осока кругловатая (*Carex rotundata* Wahlenb.) и пушица рыжеватая (*Eriophorum russeolum* Fr.), андромеда узколистная (*Andromeda polifolia* L.). Кочки имеют высоту 0,1-0,2 м. Общее покрытие трав и кустарничков 30-40%. Сплошной напочвенный покров образуют сфагновые мхи. Грядово-мочажинные болота с кустарничково-осоково-моховыми сообществами образуют гряды высотой 0,3-0,5 м и мочажины с озерами.

Кустарничково-травяной покров образуют осоки топяные (*Carex limosa* L.), пузырчатые (*Carex vesicaria* L.), пушица рыжеватая и андромеда узколистная, а моховый покров состоит из сфагновых мхов. В травяном покрове мочажин, кроме осок и пушицы, обильна вахта трёхлистная (*Menyanthes trifoliata* L.), а моховый покров состоит в основном из дрепанокладусом (*Drepanocladus* (Müll.Hal.) G.Roth).

Для бугров пучения характерны кедровые багульниково-лишайниковые и багульниково-сфагновые редины. В микрорельефе преобладают бугорки и кочки высотой до 0,8 м, разделенные обводненными мочажинами. Древесный ярус очень редкий, состоит в основном из сосны сибирской высотой до 5-8 м. Напочвенный покров полностью покрыт сфагновыми мхами, кладонией альпийской и оленьей и плевроциумом Шребера (*Pleurozium Mitt. schreberi* (Brid.) Mitt.). Проективное покрытие кустарничков и трав составляет около 50-60 %. Среди них обильны багульник болотный, кассандра обыкновенная (*Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench), морошка обыкновенная (*Rubus chamaemorus* L.), брусника обыкновенная, осока шаровидная (*Carex globularis* L.) и клюква болотная.

Плоские поверхности равнин заняты морошково-багульниково-сфагново-лишайниковыми торфяниками (крупно-, мелко-, выпукло- и плоскобугристыми). На крупных буграх произрастает морошково-багульниково-мохово-лишайниковые сообщества, приуроченные к вершинам и верхним частям склонов. На склоне обитают ерниково-моховые сообщества. Между бугров на мочажинах и ложбинах стока преобладают пушицево-осоково-сфагновые сообщества. Покрытие кустарничков и трав составляет 50-70%, почти сплошным покровом произрастают лишайники с участием зеленых и политриховых мхов.

Структура мелкобугристых торфяников трехъярусная: первый ярус высотой 0,25-0,5 м образован багульником болотным, карликовой березкой, осокой шаровидной и пушицей влагалищной; второй ярус высотой 0,05-0,15 м состоит из голубики обыкновенной, брусники обыкновенной, вороники чёрной, морошки обыкновенной, андромеды узколистной, кассандры обыкновенной; третий ярус представлен мхами и лишайниками. Покрытие первых двух ярусов составляет 30-40 %, а третьего 80-90 %.

На плоских буграх развит комплекс кустарничково-сфагново-лишайниковых сообществ. В крупных мочажинах, трещинах, канавах произрастают пушицево-осоково-сфагновые и ерниково-сфагновые сообщества. (Москаленко, 2009; Растительный покров ..., 1985).

Окружающая эоловые формы растительность относится также к экологическим факторам, влияющим на зарастание оголенных песков. Наиболее важная функция растительности – в ослаблении делювиальных и дефляционных процессов и накоплении органического вещества (Исаков, Казанская, Тишков, 1986).

Растительность древних эоловых форм. В северной тайге Западной Сибири вдоль крупных рек имеют большое распространение древние формы эолового рельефа, зачастую закрепленные растительностью. На древних формах развиваются современные эоловые образования. Растительный покров закрепленных эоловых форм составляют сосновые, иногда с кедром, елью и

лиственницей лишайниково-зеленомошные леса, с небольшой примесью кустарничков (рис. 13).



Рис. 13 – Закрепленные растительностью древние эоловые формы рельефа (фото Сизов О.С., 2016 г.)

Древостой в основном одноярусный, ярус представлен сосной обыкновенной с редким участием лиственницы сибирской до 5 %. Возраст древостоя от 15 до 45 лет. Подлесок в этом типе леса очень редок (можжевельник) или отсутствует. В напочвенном покрове обычны кустистые, бокальчатые, шиловидные, а также листоватые виды лишайников (*Cladonia stellaris*, кладония лесная *Cladonia P. Browne arbuscula* (Wallr.) Flot., *Cladonia rangiferina*). Под лишайниковым покровом обычно занято 60-90% площади участка. Изредка встречается *Polytrichum strictum* Brid.

Травяно-кустарничковый ярус обычно не имеет высокой сомкнутости, состоит в основном из брусники обыкновенной. Проективное покрытие кустарничков, и независимо от преобладающего вида, в этом ярусе колеблется в пределах 10-30%. Сомкнутость крон в сосняках лишайниковых 0,3-0,4. Древостой в этом типе леса оценивается IV-V классами бонитета. До возраста 30-35 лет в ряде случаев они растут по V классу бонитета. Под пологом сосняков

лишайниковых почти повсеместно имеется подрост и самосев сосны. Количество подроста составляет 1-2 на 100 м² (Сизов, Лоботросова, 2016).

Флора современных эоловых форм.

Изучением флоры и растительности оголенных песков на территории России занимались многие ученые (Шилова, Пристяжнюк, 1977; Проскурякова, 2002; Морозова, Магомедова, 2004; Кулюгина, 2004; Коронатова, 2004, 2012; Копцева, 2005; Ананьев, 2006; Ермохина, 2009; Миляева и др., 2011; Сумина, 2011; Игловиков, 2012; Дулепова, 2014; Селиванов и др. 2016; Капитонова, 2017). В то же время, в связи с обширным промышленным освоением севера наибольшую актуальность приобретают исследования динамики растительности на техногенных песчаных образованиях.

Состав флоры и растительности песчаных раздувов хорошо изучен на территории Забайкалья. Флора развеваемых песков Забайкалья насчитывает 350 видов и подвидов высших сосудистых растений, относящихся к 179 родам и 54 семействам. Состав псаммофитной флоры Забайкалья, главным образом, сложен видами, широко распространенными в степных ландшафтах региона. Наиболее богато представлены виды семейств *Asteraceae*, *Poaceae*, *Fabaceae*, *Rosaceae*, *Polygonaceae*, *Salicaceae*, *Chenopodiaceae*. Облигатная фракция псаммофитной флоры Забайкалья является одной из самых богатых среди южных районов Сибири (35 видов). Среди районов Байкальской Сибири, Южно-Бурятский может рассматриваться в качестве центра разнообразия флоры песков Северной Азии (Дулепова, 2014). Также имеется работа по изучению флоры и растительности песчаных обнажений Припечерских тундр. Флора песчаных обнажений в изученных районах припечорских тундр (бассейн р. Седуйяха, дельта р. Печора, бассейн р. Ортина) насчитывает 61 вид сосудистых растений, относящихся к 43 родам и 23 семействам, 71 вид лишайников, относящихся к 29 родам и 14 семействам и 18 видов мхов, относящихся к 13 родам и 8 семействам. Видовой состав песчаных обнажений каждого из районов специфичен, о чем свидетельствуют низкие коэффициенты сходства между ними, «по подтверждается и при сравнении с районами западносибирской Арктики. Для

песчаных обнажений припечорских тундр и других районов Малоземельской тундры и Западно - Сибирского сектора Арктики (п-ова Ямал, Тазовский, Гыданский, Таймыр) отмечено небольшое число общих видов (29 сосудистых растений, 3 – мхов и 22 – лишайников) (Кулюгина, 2004).

На современных эоловых формах в результате переноса песка на закрепленных растительностью участках могут образовываться эолово-фитогенные формы рельефа. Изучением таких форм занимались немногие исследователи (Федорович, 1983; Кужугет, 2005; Сизов, 2008; Капитонова, Селиванов, 2015 и др.).

Сравнивая исследования для севера Западной Сибири можно выделить несколько типов форм эолово-фитогенного рельефа:

- эолово-кустарничковые бугры (Накопление песка происходит на участках, заросших водяникой, при этом ежегодно происходит возобновление растений на вновь сформированном слое, таким образом увеличивается высота бугров);

- эолово-древесные бугры (Образуются вокруг отдельно стоящих деревьев в пределах котловин выдувания);

- валы засыпания (Образуются по периферии котловин выдувания в результате барьерного эффекта окаймляющих деревьев. Если преграда состоит из одного дерева, от него расходятся два небольших песчаных вала) (рис.14);



Рис. 14 – Валы засыпания на модельной котловине выдувания (фото Лоботросова С.А., 2014 г.)

– мелкобугристые арены выдувания (При углублении котловины до влагонасыщенных почвенных горизонтов происходит зарастание возникающих понижений с образованием мелкобугристой поверхности).

Исходя из вышеописанного, можно заключить, что растительность района исследования характеризуется большим разнообразием растительных сообществ и особой мозаичностью распространения.

Для инвентаризации видового состава, изучения его особенностей, определения таксономического разнообразия, спектра географических элементов, жизненных форм, экологических групп проведен анализ растительности песчаных обнажений. Как было рассмотрено в 1 главе нашей работы в последние годы обследования растительных сообществ песчаных обнажений на территории северной тайги, лесотундры Западной Сибири проводились только на антропогенно нарушенных территориях (Кожевников, 1997; Ермохина, 2009; Сумина, 2011; Конева, 2014; Капитонова, Селиванов, 2016, 2018 и др.)

Флора естественных развеваемых песков северной тайги Западной Сибири в пределах изучаемого модельного раздува насчитывает 27 видов сосудистых (21 род и 13 семейств) и 11 видов споровых растений (мхи и лишайники, 7 родов и 5 семейств) (таблица 4, 5). По данным исследования песчаных обнажений северной тайги центральной и южной частей полуострова Таймыр характерное количество видов составляет до 42, родов 37, семейств 20, что несколько больше изучаемой территории (Кожевников, 1997).

Основу растительного покрова составляют покрытосеменные двудольные – 52,8%, голосеменные – 15,7% от общего числа видов. Споровые, представленные мхами и лишайниками, составляют 31,5% от общего числа видов. Наиболее богаты видами семейства сосудистых растений *Cyperaceae* (4), *Ericaceae* (5), *Parmeliaceae* (4), *Asteraceae* (3), *Poaceae* (3), небольшое число семейств споровых *Cladoniaceae* (3), *Pinaceae* (3). Остальные представлены 1-2 видами.

Таблица 4 – Список видов сосудистых растений, выявленных на песчаных раздувах северной тайги Западной Сибири

№	Таксон		Род	Семейство	Географические элементы	Биоморфа	Экотип/корневая система	Биологические типы по Равкин	Местообитание
1	Сосна обыкновенная	<i>Pinus sylvestris</i> L.	Pinus	Pinaceae	Б еаз	М	Дерево, стержнеконевая	Ф	Вершины дюны, подветренный склон, реже котловины между дюнами, анклавы
2	Лиственница сибирская	<i>Larix sibirica</i> Ledeb.	Larix	Pinaceae	Б с	М	Дерево, стержнеконевая	Ф	Анклавы
3	Сосна сибирская	<i>Pinus sibirica</i> Du Tour	Pinus	Pinaceae	Б еаз	М	Дерево, стержнеконевая	Ф	Котловины между дюнами, анклавы
4	Береза извилистая	<i>Betula tortuosa</i> Ledeb.	Betula	Betulaceae	Га еаз	М	Дерево, стержнеконевая	Ф	Вершины дюны, подветренный склон, реже котловины между дюнами, анклавы, берег возле поймы
5	Ива трёхтычинковая	<i>Salix triandra</i> L.	Salix	Salicaceae	Б еаз	Г	Кустарник, стержнеконевая	Ф	
6	Ива прутовидная	<i>Salix viminalis</i> L.	Salix	Salicaceae	Б еаз	Г	Кустарник, стержнеконевая	Ф	
7	Овсяница овечья	<i>Festuca ovina</i> L.	Festuca	Poaceae	Б еаз	М	Трава, плотнодерновинная	Гк	Вершины дюны, подветренный склон, реже котловины между дюнами, анклавы, берег возле поймы
8	Вейник Лангсдорфа	<i>Calamagrostis langsdorffii</i> L.	Calamagrostis	Poaceae	Б ц	Г	Трава, корневищная	Гк	
9	Вейник наземный	<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth	Calamagrostis	Poaceae	Б еаз	М	Трава, корневищная	Гк	
10	Пушица влагалищная	<i>Eriophorum vaginatum</i> L.	Eriophorum	Cyperaceae	Аб ц	Г	Трава, корневищная	Гк	Берег возле поймы
11	Осока кругловатая	<i>Carex rotundata</i> Wahlenb.	Carex	Cyperaceae	Га ц	Г	Трава, стержнекорневая	Гк	
12	Осока шаровидная	<i>Carex globularis</i> L.	Carex	Cyperaceae	Б еаз	М	Трава, стержнекорневая	Гк	
13	Осока пузырчатая	<i>Carex vesicaria</i> L.	Carex	Cyperaceae	Еаз б	Г	Трава, стержнекорневая	Гк	
14	Золотарник обыкновенный	<i>Solidago virgaurea</i> L.	Solidago	Asteraceae	Б еаз	М	Трава, стержнекорневая	Гк	Вершины дюны, подветренный склон, котловины между дюнами,

№	Таксон		Род	Семейство	Географические элементы	Биоморфа	Экотип/ корневая система	Биологические типы по Раукингу	Местообитание
15	Пижма дваждыперистая	<i>Tanacetum bipinnatum</i> L. Sch. Bip.	Tanacetum	Asteraceae	Га ц	М	Трава, корневищная	Гк	редко анклавы
16	Ястребинка зонтичная	<i>Hieracium umbellatum</i> L.	Hieracium	Asteraceae	Б еаз	М	Трава, корневищная	Гк	
17	Иван-чай (кипрей) узколистный	<i>Chamaenerion angustifolium</i> L. Scop.	Chamaenerion	Onagraceae	Б ц	М	Трава, корневищная	Гк	Антропогенно нарушенные участки
18	Брусника обыкновенная	<i>Vaccinium vitis- idaea</i> L.	Vaccinium	Ericaceae	Б еаз	П	Кустарничек, корневищная	Х	Анклавы
19	Багульник болотный	<i>Ledum palustre</i> L.	Ledum	Ericaceae	Б еаз	П	Кустарничек, стержнекорневой	Х	Анклавы
20	Толокнянка альпийская	<i>Arctous alpina</i> L. Nied.	Arctostaphylos	Ericaceae	Гаа ц	М	Кустарничек, стержнекорневая	Х	Анклавы, небольшие валы
21	Толокнянка обыкновенная	<i>Arctous uva-ursi</i> L. Spreng.	Arctous	Ericaceae	Б ц	К	Кустарничек, корневищная	Х	Анклавы, антропогенно нарушенные участки
22	Голубика обыкновенная	<i>Vaccinium uliginosum</i> L.	Vaccinium	Ericaceae	Б еаззам	П	Кустарничек, стержнекорневая	Х	Анклавы
23	Щавель злаколистный	<i>Rumex graminifolius</i> Lamb.	Rumex	Polygonaceae	А еаз	Пс Гл К	Трава, стрежнекорневая	Гк	Вершины дюны, подветренный склон, котловины между дюнами, редко анклавы
24	Вороника черная	<i>Empetrum nigrum</i> L.	Empetrum	Empetraceae	Га ц	П	Кустарничек, стрежнекорневая	Х	Анклавы
25	Вахта трёхлистная	<i>Menyanthesvud trifoliata</i> L.	Menyanthes	Menyanthaceae	Ц а	Гд	Трава, стрежнекорневая	Гк	Берег возле поймы
26	Стрелолист обыкновенный	<i>Sagittaria sagittifolia</i> L.	Sagittaria	Alismataceae	Б еаз	Гд	Трава, корневищная	Гк	
27	Хвощ полевой	<i>Equisetum arvense</i> L.	Equisetum	Equisetaceae	Б ц	М	Трава, стрежнекорневая	Гк	

Примечание: Географические элементы: а- арктический; га- гипоарктический; гаа- гипоарктоальпийский; б – бореальный; аб – арктобореальный; ц – циркумполярный; цо - циркумполярный океанический; еаз – евразийский; еазам – евразийский-западноамериканский; е – европейский; с -сибирская.

Экологический тип: К – ксерофит; П – психрофит; М – мезофит; Г – гигрофит; Гд – гидрофит, ПС –псаммофит, ГЛ - галофит. Биологические типы по Раункиеру: Гк- гемикрептофит; Ф – фанерофит; Х – хамефит.

Анклавы – территории открытых стабильных участков котловины выдувания с лиственнично-сосновым лишайниковым лесом с примесью березы.

Таблица 5 – Список споровых растений

№	Название		Род	Семейство	Местообитание
		Листостебельные мхи			
1	Политрихум можжевельниковидный	<i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw.	Polytrichum Hedw.	Polytrichaceae Schwägr.	Анклавы, котловины между дюнами
2	Политрихум торчащий	<i>Polytrichum strictum</i> Brid.	Polytrichum Hedw.		
3	Плевроциум Шребера	<i>Pleurozium Mitt. schreberi</i> (Brid.) Mitt.	Pleurozium Mitt.		
		Гипновые мхи			
4	Дрепанокладус	<i>Drepanocladus</i> (Müll. Hal.) G.Roth)	<i>Drepanocladus</i> (Müll. Hal.) G.Roth	Amblystegiaceae G.Roth	Берег возле поймы
		Лишайники			
5	Пармелия бороздчатая	<i>Parmelia sulcata</i> Taylor	Parmelia Ach.	Parmeliaceae Zenker	Стволы деревьев, анклавы
6	Алектория охристая	<i>Alectoria ochroleuca</i> (Hoffm.) A. Massal.	Alectoria Ach.		Анклавы, котловины между дюнами
7	Цетрария снежная	<i>Flavocetraria nivalis</i> (L.) Kärnefelt et A. Thell.	Flavocetraria Kärnefelt et A. Thell		
8	Цетрария клубучковая	<i>Flavocetraria cucullata</i> (Bellardi) Kärnefelt et A. Thell.	Flavocetraria Kärnefelt et A. Thell		
9	Кладония звёздчатая	<i>Cladonia stellaris</i> (Opiz) Pouzar et Vězda	Cladonia P. Browne		
10	Кладония оленья	<i>Cladonia rangiferina</i> (L.) F. H. Wigg.	Cladonia P. Browne		
11	Кладония альпийская	<i>Cladonia alpina</i> (Asahina) Yoshim.	Cladonia P. Browne		

Спектр ведущих семейств флоры северной тайги Западной Сибири довольно типичен для бореальных флор в целом, для которых характерна ведущая роль семейств *Asteraceae*, *Poaceae*. Существенна доля бореальных видов и для песчаных раздувов дюн Припечорских тундр (Кулюгина, 2004), песков Забайкалья (Дулепова, 2014), на эоловых песках полуострова Ямал доля бореальных видов составляет 5,3 % (Телятников, Пристяжнюк, 1995), на песчаных раздувах полуострова Тазовский – 10% (Хитун, 1991).

По данным исследований, 29 % растительности изучаемой модельной котловины выдувания приходится на Евроазиатскую группу, 62% на бореальную

и всего 37 % на циркумполярную, 14 % на гипоарктическую и еще 14 % на гипоарктоальпийскую, евразийско-западноамериканскую, сибирскую.

Биоморфологическая структура отражается в виде свойственных растительности количественных отношений видов с определенными биоморфологическими признаками. Жизненные формы отражают особенности среды через специфику роста и развития растений в господствующих почвенно-климатических и ценологических условиях. Среда действует на форму через изменение жизнедеятельности организма и, особенно, через изменение интенсивности и направления роста, а также длительности жизни его вегетативных органов (Серебряков, 1962).

Анализ биоморф растительности песчаных обнажений северной тайги Западной Сибири проведен в соответствии с основными положениями биоморфологической классификации И.Г. Серебрякова (1962, 1964).

По таблице 6 можно сделать вывод о том, что в структуре растительности развееваемых песков северной тайги Западной Сибири преобладает число видов травянистых растений (15) над древесными жизненными формами (6). Среди древесных преобладают деревья одноствольные, среди травянистых – короткокорневищные, стержнекорневые, длиннокорневищные поликарпики, что характерно, в целом, для бореальных флор (Юрцев, 1968; Толмачев, 1974). Растения подвижных песков закрепляются с помощью длинного корневища (пижма), стержнекорневой системы (вейник Лангсдорфа) или дерновины (овсяница Овечья). Длина проникновения корней превышает 1 м. Такую мощную корневую систему имеют перечисленные виды и кустарнички (*Arctostaphylos alpina*), а также некоторые виды разнотравья (щавель злаколистный, ястребинка зонтичная, золотарник) и ивы (ива прутовидная, трёхтычинковая), хорошо выдерживающие засыпание песком. Дерновинная корневая система характерна в основном для злаков. Она более устойчивая к выживанию при выдувании субстрата.

Таблица 6 – Биоморфологическая структура растительности песчаных обнажений северной тайги Западной Сибири (по Серебрякову, 1962)

Жизненная форма растений	Число видов	Доля видов в %
<i>Древесные</i>	6	22,2
Кустарник прямостоячий	2	7,4
<i>Деревья</i> Одноствольные	4	14,8
<i>Кустарнички стелющиеся</i>	6	22,2
<i>Травянистые поликарпики</i>	15	55,6
Длиннокорневищные стержнекорневые	8	29,6
Длиннокорневищные плотнокустовые дерновинные	5	18,5
Коротkokорневищные ползучие	2	11,1

Среди жизненных форм по Раункиеру больше половины видов – гемикриптофиты (55,5%), которые представлены в основном многолетними травами. К хамефитам (22,2%) относятся кустарнички. Около 22,2 % флоры сосудистых составляют фанерофиты.

По экологическим группам по отношению к самому важному фактору-влажности у сосудистых растений модельной котловины выдувания преобладают мезофиты (13 видов – 48,1%), психрофиты (4 вида – 14,8 %), ксерофитов (2 вида – 7,4%). Число видов гигрофитов (6 видов – 22,2 %) и гидрофитов (2 вида – 7,4 %) незначительно и свидетельствует об умеренном увлажнении песчаного субстрата. Среди мхов и лишайников преобладают ксерофиты.

Сравнение видового разнообразия флоры окружающих фитоценозов и песчаных обнажений показало, что в зарастании котловины выдувания участвовала небольшая доля видов местной флоры (сосудистых и споровых) (табл. 7).

Таблица 7 – Сравнение видового богатства фитоценозов песчаных обнажений и березово-лиственничных бруснично-лишайниковых редколесий конкретной флоры

Число видов	Березово-лиственничные бруснично-лишайниковые редколесья	Фитоценозы котловины выдувания на подвижном субстрате
Сосудистые	13	10
Мхи	4	1
Лишайники	7	0
Всего	23	12

Для террас северной тайги сложенных песками характерны березово-лиственничные бруснично-лишайниковые редколесья на подзолистых почвах. Видовая насыщенность этих участков невелика 19-21 вид на 100 м². Для равнин, сложенных суглинками и супесями характерны березово-елово-лиственничные ерничково-багульниковые леса и редколесья с видовой насыщенностью 23-27 видов на 100 м² (Москаленко, 1991). Для открытых участков с подвижным субстратом характерны травянистые фитоценозы, участвующие в зарастании с видовой насыщенностью 6-8 видов на 100 м².

Коэффициенты сходства Сёренсена и Жаккара указывают на большую степень сходства между сообществами (табл. 8).

Таблица 8 – Сравнение видового состава фитоценозов песчаных обнажений и березово-лиственничных бруснично-лишайниковых редколесий конкретной флоры

Число видов	Березово-лиственничные бруснично-лишайниковые редколесья	Фитоценозы котловины выдувания на подвижном субстрате	Коэффициент Сёренсена, %	Коэффициент Жаккара, %
Сосудистые	13	10	83	56
Мхи	4	1	51	25
Лишайники	7	0	0	0
Всего	23	11	45	24

Специфичность видового состава фитоценозов подвижных участков песчаных обнажений подтверждают данные сравнения видового состава фитоценозов их окружающих. Общими являются 8 видов (ястребинка зонтичная, овсяница овечья, сосна обыкновенная, сосна сибирская, лиственница сибирская, береза извилистая, ива прутовидная, политрихум торчащий), 3 вида встречаются только на песчаных обнажениях (щавель злаколистный, золотарник обыкновенный, пижма дваждыперистая).

Следует отметить некоторые различия в видовом составе растительных сообществ обследованных песчаных обнажений по сравнению с данными других авторов, полученных на песчаных обнажениях естественного и антропогенного генезиса северной тайги Западной Сибири (Капитонова, 2018).

Общими видами являются вейник наземный, ястребинка, овсяница овечья и сосна обыкновенная, ива трехтычинковая. Данными авторами указывается, что наиболее распространенным видом на подвижных песках является ситник (*Juncus trifidus* L.; *Juncus articulatus* L.) Также отличительным видом является мышиный горошек (*Vicia cracca* L.) и клевер горный (*Trifolium montanum* L.). Хотя в более ранних исследованиях песчаных обнажений антропогенного генезиса отмечалось отсутствие растений семейства бобовых (Коронатова, Миляева, 2011).

Флора песчаных обнажений северной тайги Западной Сибири состоит из видов, выдерживающих и умеющих приспосабливаться к таким условиям, тем самым отличающиеся от представителей местной флоры. В основном это представители стержнекорневых, корневищных и дерновинных трав. Из экологических групп преобладают мезофиты, только один вид относится к псаммофитам (щавель злаколистный), что согласуется и с другими исследованиями на песчаных раздувах Малоземельской тундры и полуострова Ямал (Кулюгина, 2004, Ермохина, 2009, Эктова, 2011). Из широтных групп преобладают бореальные (62 %), из долготных евроазиатские (55,5 %).

К наиболее активным видам относятся вейник Лангсдорфа, овсяница овечья, пижма дваждыперистая, ястребинка зонтичная.

Сходными диагностическими видами, которые играют значимую роль в сложении сообществ, с песчаными раздувами тундровой зоны полуострова Гыдан являются: овсяница овечья, толокнянка альпийская, близкородственный политрихум торчащий (политрихум волосоносный) (Хитун, 2002).

На полуострове Ямал общими видами являются пижма дваждыперистая, близкородственная овсяница овечья (у них овсяница красная), щавель злаколистный и толокнянка альпийская (Магомедова, Морозова, 1997; Ермохина, 2009; Эктова, 2011).

Сходные диагностические виды на припечорских тундрах являются овсяница овечья, щавель злаколистный, пижма дваждыперистая, ястребинка зонтичная (Кулюгина, 2004).

Сходными видами с песчаными раздувами Забайкалья являются: сосна обыкновенная, сибирская, лиственница сибирская, овсяница овечья, вейник Лангсдорфа (в Забайкалье наземный), береза извилистая (в Забайкалье – повислая), ива прутовидная, трёхтычинковая (в Забайкалье – кустарниковая), щавель злаколистный (в Забайкалье – воробьиный и пирамидальный), иван-чай узколистный, толокнянка обыкновенная, голубика обыкновенная, брусника обыкновенная, вахта трёхлистная, пижма дваждыперистая (в Забайкалье обыкновенная), ястребинка зонтичная (Дулепова, 2014).

В целом следует отметить, что основными общими видами, заселяющими подвижные пески в тундровой и северотаежной зонах и регионах России, являются виды семейства овсянницы, вейника, ястребинки, пижмы и щавеля, из мхов политрихум. Региональные различия присутствуют в виде включения видов характерных для данной местности.

Многие исследования российских и зарубежных ученых показывают, что развеваемые пески распространены в различных климатических зонах. Наиболее крупные по площади массивы встречаются в пустынных областях, средние и мелкие распространены как в степной, лесной зонах, не исключая и Крайнего севера. В северных районах песчаные массивы приурочены в основном к берегам крупных рек и озер. По своему происхождению и ряда экологических факторов песчаные массивы различны. Все эти различия определяют разнообразие состава флоры и растительности развеваемых песков. Но везде имеются общие черты сходства морфологии и биологии растительности, вызванные постоянным перевиванием песчаного субстрата. Следовательно, отнесение растительности развеваемых песков к какому-либо зональному типу на наш взгляд не корректно, поэтому растительность песчаных раздувов относится к интразональному типу.

3.2 Структура растительности

Условия, складывающиеся на модельной котловине выдувания, характеризуют структуру растительных сообществ.

Классификация растительных сообществ проведена с целью выявления их разнообразия и для установления стадий восстановления. Она выполнена в соответствии традиционного подхода для русских геоботаников, базирующийся на доминирующих видах основных ярусов и учитывающий их характерные виды (Шенников, 1964; Катенин, 1972а, 1972б; Матвеева 1978, 1985; Паянская-Гвоздева, 1990). Также при выделении фитоценозов мы ориентировались на определённый диапазон экологических условий, что позволило определить стадии восстановления фитоценозов.

Растительность на поверхности песчаных форм формируется неравномерно. В ходе исследований были выявлены закономерности распределения растительности в мезорельефе песчаной дюны на участках с подвижным и стабильным песчаным субстратом. Это позволило выделить несколько зон с различными условиями формирования растительного покрова, и оценить структурные особенности фитоценозов каждой из них (рис. 15).

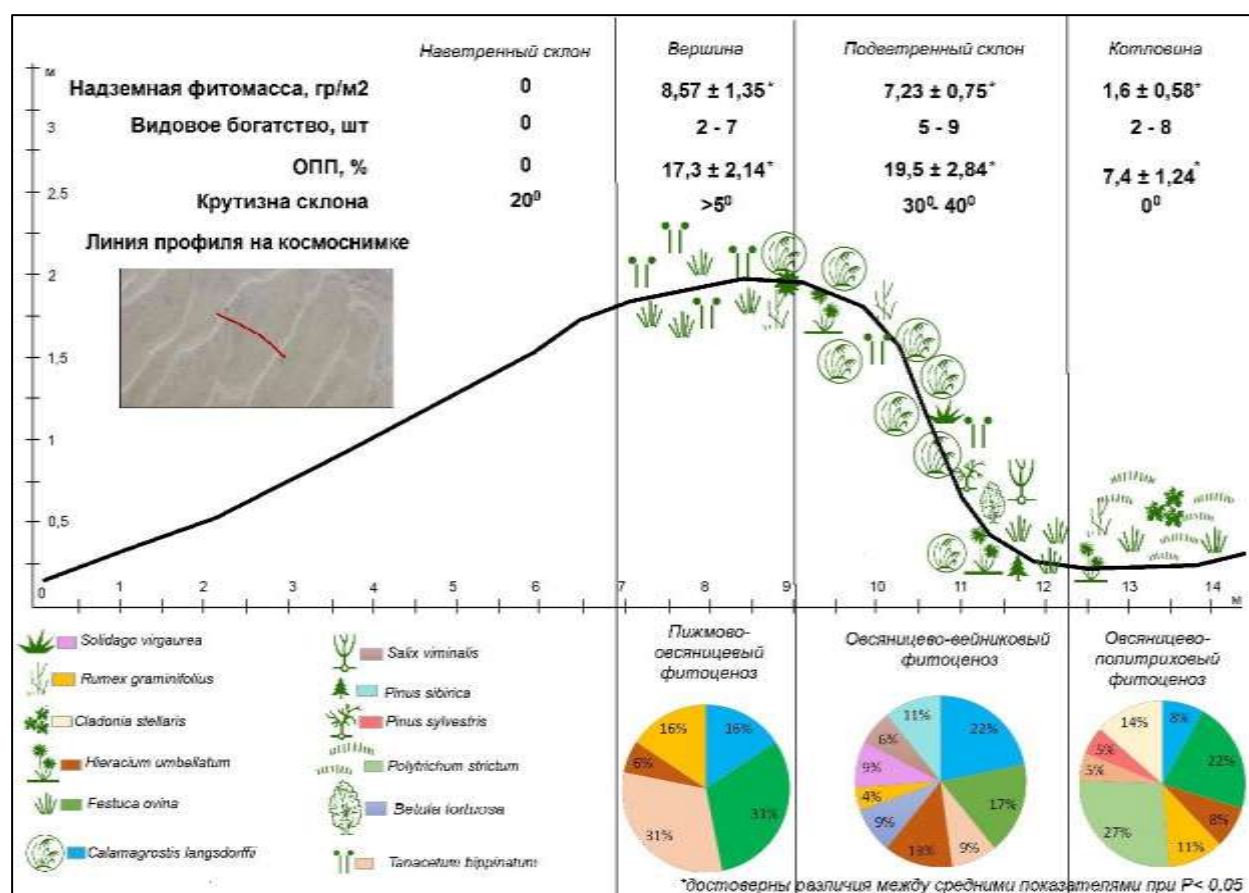


Рис. 15 – Поперечный геоботанический профиль дюны на участке с подвижным субстратом модельной котловины выдувания (составлено автором)

По профилю можно выделить зоны с различными условиями формирования фитоценозов. С различной степенью проективного покрытия и биомассой.

Первая зона – это наветренные склоны валов и дюн. Для них характерны пологий рельеф и отсутствие растительных сообществ.

Вторая зона – вершина дюн. Одна из наиболее насыщенных видами растительности. Здесь представлена пижмово-овсяницевый фитоценоз.

Третья зона – подветренные склоны. Здесь представлена овсяницевейниковый фитоценоз.

Четвертая зона – котловины между дюнами. Здесь представлена овсяниче-политриховый фитоценоз.

Наиболее развиты растительные сообщества второй и третьей зоны.

Растительные сообщества второй зоны представлены пижмово-овсяницевым фитоценозом (рис.16).



Рис. 16 – Пижмово-овсяницевый фитоценоз (фото Лоботросовой С.А., 2017 г.)

Общее количество видов составляет 7. В стадии цветения находиться 3 вида, стадии плодоношения 2 вида, остальные 2 вида в стадии вегетации. Помимо доминирующих видов Овсяницы Овечьей и пижмы дваждыперистой, в данном фитоценозе произрастают вейник Лангсдорфа, щавель и редко встречается ястребинка, береза извилистая, ива прутовидная. В основном данный фитоценоз

занимает плоские вершины дюн. Травостой не высокий с общим проективным покрытием не более 30 %, видовая насыщенность варьирует от 2 до 7 на 25 м². В ходе обследований была рассчитана средняя биомасса для данного фитоценоза и среднее значение массы надземной части растений составляет $8,57 \pm 1,35$ грамма на 1 м².

Верхний подъярус слагают пижма дваждыперистая, овсяница овечья, ястребинка (20-55 см), нижний ярус состоит из щавеля (7-15 см). Все обследованные площади данного фитоценоза отличались малым видовым разнообразием, но схожим между собой. Коэффициент сходства видового состава по Жаккару составляет в среднем 46 %. По Сёренсену-Чекановскому составляет 52% (приложение 2). Таким образом, все исследованные площадки данного фитоценоза имеют схожий видовой состав.

Третья зона представлена овсяницево-вейниковым фитоценозом (рис.17).



Рис. 17 – Овсяницево-вейниковый фитоценоз (фото Лоботросовой С.А., 2014 г.)

Видовой состав фитоценоза выше, чем во второй зоне и составляет 9 видов. Помимо доминирующих видов вейника Лангсдорфа и овсяницы овечьей, в данном фитоценозе очень активно произрастают ястребинка зонтичная, щавель и пижма дваждыперистая, редко произрастает золотая розга (приложение 2). В

единичном экземпляре можно встретить березы извилистые и ивы прутовидные, сосны обыкновенные, сосны сибирские. В стадии цветения находятся 4 вида, 2 в стадии плодоношения и 3 в стадии вегетации. В основном данный фитоценоз занимает подветренные склоны дюн с крутизной до 40^0 . Травостой выше чем в пижмово-овсяницево-вейниковом фитоценозе с общим проективным покрытием не более 35 %, видовая насыщенность варьирует от 5 до 9 на 25 м^2 . В ходе обследований была рассчитана средняя надземная фитомасса для данного фитоценоза и среднее значение массы надземной части растений составляет 7 грамма на 1 м^2 .

Верхний подъярус слагают вейник Лангсдорфа, овсяница овечья, ястребинка, золотая розга (30-70 см), нижний ярус – щавель, пижма (10-30 см). Все обследованные площади данного фитоценоза отличались большим сходством между собой. Коэффициент сходства видового состава по Жаккару составляет в среднем 54 %. По Сёренсену-Чекановскому составляет 67% (Приложение 2). Таким образом, все исследованные площадки данного фитоценоза имеют схожий видовой состав.



Рис.18 – Первые сосны сибирские в овсяницево-вейниковом фитоценозе (фото Соромотин А.В., 2017 г.)

Четвертая зона представлена междюнными котловинами, нередко образованными полигонально-жильными трещинами (рис. 19). В котловинах развиваются овсянице-политриховый фитоценоз. Видовой состав фитоценоза ниже, чем в двух предыдущих зонах и составляет 8 видов.



Рис. 19 – Овсянице-политриховый фитоценоз (фото Лоботросовой С.А., 2013 г.)

Помимо доминирующих видов мха (политрихум торчащий) и овсяницы овечьей в данном фитоценозе встречаются такие виды как вейник Лангсдорфа, пижма дваждыперистая, щавель, ястребинка и лишайник – кладония звёздчатая (рис.20).



Рис. 20 – Кладония звёздчатая в овсяницево-политриховом фитоценозе (фото Соромотина А.В., 2017 г.)

В единичном экземпляре можно встретить березу извилистую и сосну обыкновенную, сосну сибирскую. Травостой низкий с общим проективным покрытием не более 15 %, видовая насыщенность варьирует от 2 до 8 на 25 м². В ходе обследований была рассчитана средняя биомасса для данного фитоценоза и среднее значение массы надземной части растений составляет 2 грамма на 1 м². Верхний подъярус слагают овсяница овечья, вейник Лангсдорфа, ястребинка, щавель злаколистный, пижма дваждыперистая (15-35 см), нижний ярус – политрихум торчащий (2-3 см). Все обследованные площади данного фитоценоза отличались средним сходством между собой. Коэффициент сходства видового состава по Жаккару составляет в среднем 41 %. По Сёренсену-Чекановскому составляет 55 % (приложение 2). Общими видами почти для всех исследуемых площадок являются политрихум торчащий и овсяница овечья. Таким образом, все исследованные площадки данного фитоценоза имеют схожий видовой состав. Также между основными зонами наблюдаются переходные зоны с отмирающей растительностью. Вследствие более активного засыпания песком растительности. Переходные зоны встречаются между третьей (подветренные склоны) и четвертой (котловины) зоной. Отмирающими видами являются береза извилистая, сосна обыкновенная, ива прутовидная, затем пижма дваждыперистая, ястребинка. Данные зоны образуются вследствие передвижения песчаного материала. Это является одним из доказательств того, что песчаный раздув является динамичной системой, что будет рассмотрено в следующей подглаве настоящей работы.

Помимо фитоценозов выделенных зон по территории модельного раздува можно выделить фитоценозы стабильного состояния песчаного субстрата. Это фитоценозы антропогенно-нарушенных зон, участков восстановления, останцов почв, фитогенных бугров.

На антропогенно-нарушенных участках (рис. 21) выделяются растительные фитоценозы с участием местных видов многолетних трав и включением новых видов.



Рис. 21 – Овсяницево-иванчаевый фитоценоз (фото Лоботросовой С.А., 2016 г.)

В западной части модельного раздува располагается площадка действующего водозабора. На нарушенной территории произрастают синантропные растительные фитоценозы. Примерно в 1-2 м от границ водозабора к естественным растительным фитоценозам присоединяются и синантропные виды (Иван-чай узколистный).

Общее проективное покрытие растениями здесь довольно высокое и достигает 45 %. Видовое разнообразие колеблется в пределах 4-8 видов на 25 м². Верхний подъярус слагает иван-чай, достигая 45-60 см высотой, затем следует второй нижний подъярус состоящий из овсяницы Овечьей, вейника Лангсдорфа, ястребинки, щавеля, пижмы Дваждыперистой (15-35 см). По территории модельного раздува данные растительные фитоценозы встречаются только около площадки водозабора.

Фитоценозы зон самовосстановления наблюдаются после отработки песчаного карьера, расположенного в юго-восточной части. Также восстановление происходит на территориях, где песчаной массы осталось не так много, и воздействие ветра и засыпание песком уже не происходит.

Данные фитоценозы представляют собой «анклав» соснового леса посреди песчаного раздува (рис.22).



Рис. 22 – Восстановленные участки песчаного раздува - «Анклавы» (фото Сизова О.С., 2015 г.)

Участки восстановления занимает лиственнично-сосновый лишайниковый лес с примесью березы. Первый ярус здесь слагают сосна обыкновенная, лиственница сибирская, береза извилистая, редко встречаются проростки сосны сибирской. Первый ярус достигает высот до 4-5 м. Сомкнутость крон данного яруса составляет 15-20%. Второй ярус кустарниковый состоит из кустов ивы прутовидной, высотой до 1,5-2 м. Кусты ивы встречаются единичными экземплярами. Третий ярус представлен ястребинкой, овсяницей овечьей, толокнянкой обыкновенной высотой от 6 до 30 см. Данный ярус имеет разрозненное местоположение и небольшую степень проективного покрытия до 5-7 %. Нижний ярус слагают мох политрихум торчащий и лишайники- кладония оленья, кладония альпийская, кладония ягодонесущая, цетрария снежная высотой до 7 см. Проективное покрытие мха в данном ярусе составляет около 55-78%, покрытие лишайником составляет около 30-35 %. Всего в данном фитоценозе насчитывается 20 видов (приложение 2).

Следующие два фитоценоза можно отнести к растительности эолово-фитогенных форм рельефа. Это такие как одиночные останцы деревьев, обдуваемые ветром и слагающие определенные формы (рис.23).



Рис. 23 – Дерево-останец (фото Сизова О.С., 2015 г.)

Другим типом эолово-фитогенного рельефа являются «толокнянковые бугры» (рис. 24).



Рис. 24 – «Водяниковые бугры» слева (фото Капитонова В.И.), «Толокнянковые» бугры справа (фото Сизова О.С., 2015 г.)

У других исследователей (Капитонова, 2016) в подзоне лесотундры и на антропогенных песках встречаются моховые и «водяниковые бугры». В нашем случае, данные бугры сложены крутинами толокнянки альпийской. Наблюдаемые бугры имеют округловатую, иногда вытянутую форму. Длина

бугров около 3-5 м, ширина 3-4 м, высота до 0,5 м. Видовая насыщенность около 1-3 вида на 25 м².

По предположениям Капитоновой О.А. (2016) данные «бугры» сформировались в течение нескольких лет или даже десятилетий. Это подтверждается скоростью нарастания побегов некоторых видов мхов (политрихум) и водяники и продольными разрезами бугров, где отчетливо просматриваются чередующие слои чистого песка и с примесью гумуса, что может свидетельствовать о неодинаковой скорости засыпания песком кустов растений в разные годы.

На западной границе с песчаным обнажением соседствует лиственнично-березово-сосновый с примесью кедра кустарничково-зеленомошно-лишайниковый лес. Данный фитоценоз включает 4 яруса. Первый ярус древесный, состоящий из березы извилистой, сосны обыкновенной, лиственницы сибирской, сосны сибирской. Сомкнутость крон составляет 75-80 %. Средняя высота деревьев около 7-9 м. Второй ярус слагает подрост из березы извилистой, сосны обыкновенной, лиственницы сибирской, сосны сибирской. Высота данного яруса достигает 0,5-1 м. Третий ярус сложен кустарничками в основном брусникой, черникой, голубикой, вороникой. Видовое обилие в данном ярусе варьирует от 3 до 6 видов. Средняя высота кустарничков около 30 см. На вершине аккумулятивного вала вдоль границы с лесом можно встретить кусты можжевельника. Четвертый ярус сложен мохово-лишайниковым покровом. Проективное покрытие данного яруса составляет около 95 %.

По северной границе наблюдается активное накопление песчаного материала и погребение отдельных деревьев. В результате выноса песка в некоторых местах образуются останцы растительности, скрепляемые корневой системой кедра сибирского. Здесь встречаются 8 видов растений.

В южной части котловины в настоящее время ведутся работы по добыче песка. Отработанные участки карьера активно зарастают подростом из сосны обыкновенной, лиственницы сибирской, березы извилистой. Всего в данных фитоценозах встречается 5-7 видов растений.

В юго-восточной части по периферии наблюдается накопление песка и погребение отдельных деревьев. Высота аккумулятивных валов достигает 8-10 м.

К северо-западу от котловины выявлены два аккумулятивных вала, полностью закрепленные растительностью. Валы покрыты лишайником - кладонией альпийской. Также здесь присутствуют и типичные лесные сообщества. На вершине вала произрастают такие виды как береза извилистая и сосна обыкновенная, лиственница сибирская, сосна сибирская. В надпочвенном покрове кроме кладонии присутствуют также толокнянка альпийская, брусника, вороника. На склоне преобладают сосна обыкновенная, кедр сибирский, брусника, политрихум торчащий. В котловине между валами растет багульник болотный, черника, голубика, брусника, подрост из сосны обыкновенной, лиственницы сибирской, сосны сибирской, ели сибирской.

Таким образом, на основной площади песчаного раздува преобладают травянистые группировки, выделенные по основным формам мезорельефа. Наряду с ними существуют зачатки древесных группировок на территориях со стабильным песчаным субстратом. Наряду с этим на поверхности песчаных валов вдоль границ с лесными фитоценозами имеются отдельно стоящие погибающие или погибшие деревья.

В рамках выполнения работ по гранту № 16-45-890529р-а, 16-45-890529 Бочкарёвым Ю. Н. был выполнен анализ динамики прироста и определение гибели деревьев. В результате анализа установлено, что погибшие деревья модельного раздува имеют возраст около 150-200 лет.

3.3 Сукцессии растительности

Возникновение и распределение растительности по площади песчаных раздувов неравномерно и под действием ветра находится в постоянном движении. Данный факт подтверждается наблюдениями за площадью песчаного раздува по космическим снимкам и детальным измерениям, выполненным на исследуемом модельном раздуве.

Так, изменение площади можно проследить на примере относительно крупной ($S=1.15 \text{ км}^2$) котловины, расположенной в 5 км к югу от устья р. Едъяха, правого притока р. Надым. Сравнение снимков высокой детальности, в том числе с помощью синтезирования разновременного композита (рис. 25), показывает, что за 44 года произошло незначительное расширение границ в восточном (1) и южном (2) направлении, что согласуется с направлениями преобладающих ветров. Аккумулятивный песчаный вал переместился на расстояние до 30 м. В то же время с западной стороны наблюдается сокращение площади развеваемых песков (3). Ширина полосы образовавшейся устойчивой растительности составляет 20-30 м.

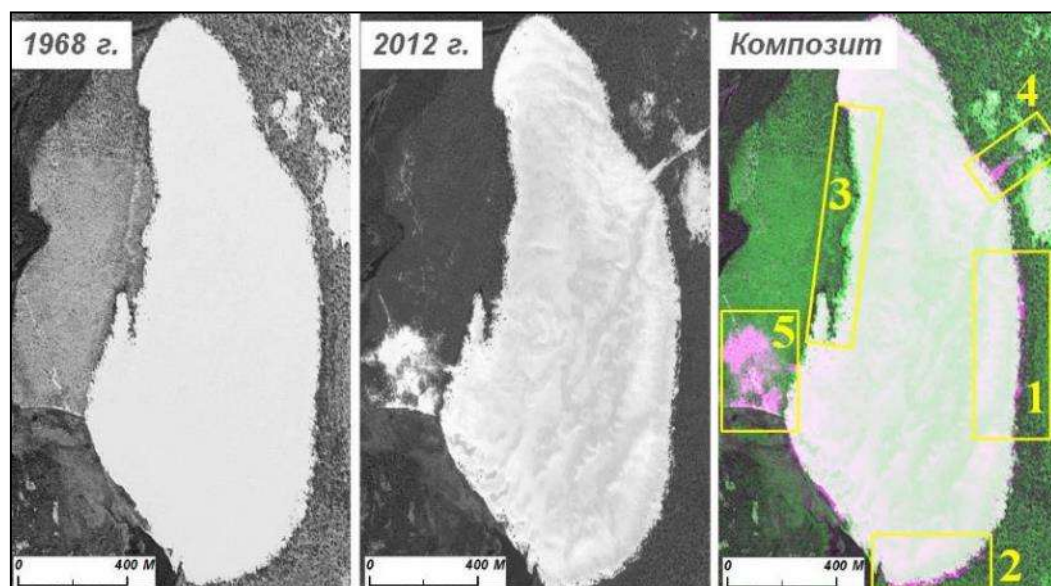


Рис. 25 – Изменение котловины выдувания, космические снимки КН-4В, 1968 г., WorldView-2, 2012 г. и мультिवременной композит

Локальные изменения площади котловины связаны с антропогенным воздействием – временными проездами техники в северо-восточной части (4) и нарушением почвы в пределах временной базы геофизической партии (5). Образование небольших искусственных арен выдувания в результате подобных локальных воздействий широко распространено на рассматриваемой территории (Сизов, Лоботросова, 2016 г). На исследуемом раздуве можно выявить различную скорость движения песчаных масс на всей площади оголенного песка.

В центральной части котловины происходит активное перемещение песчаного материала – с 1968 по 2012 годы дюны переместились на расстояние до 40 м (рис. 26). Поэтому здесь отмечается самая низкая степень зарастания - проективное покрытие составляет 10-15%.

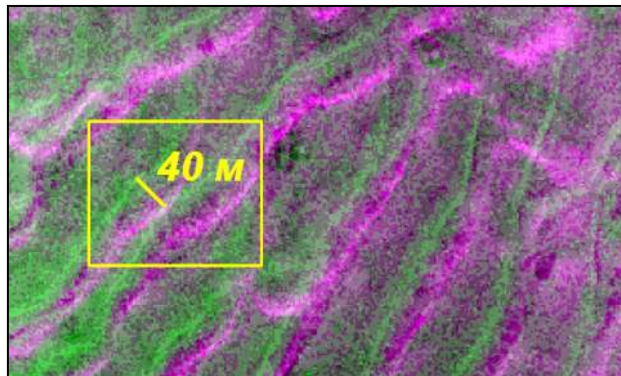


Рис. 26 – Перемещение продольных дюн по поверхности котловины, мультивременной композит снимков КН-4В 1968 г. и WorldView-2 2012 г.

По данным Дулеповой Н.А., 2014 г. пески Забайкалья в год перемещаются до 11 метров, что в 11 раз больше чем на исследуемом нами массиве. Скорость аккумуляции в южной части модельного раздува можно показать на примере реперного пункта, установленного на одном из деревьев.

За первый же год наблюдений (2013-2014) репер оказался засыпан песком на 23 см (рис. 27). Последующие измерения в 2015 по 2017 годы установленных реперов показали, что в целом сохраняется тенденция повышенной аккумуляции на подветренных склонах песчаных дюн, особенно на южной границе раздува (более 15 см в год).

Для изучения динамики растительности нами были проведены стационарные геоботанические наблюдения на южной границе модельного раздува, так как именно здесь наблюдается повышенная аккумуляция песчаных масс как было описано ранее. Динамику растительности наблюдали на вершине огромного вала на юго-западной окраине исследуемого раздува и на геоботаническом профиле в центральной части раздува.



Рис. 27 – Аккумуляция песка в южной части модельной котловины выдувания (фото Лоботросовой С.А.- 2013 г., 2014 г. и Сизова О.С, 2017 г.)

На геоботанической площадке (рис. 28) описывались видовой состав, проективное покрытие и средняя высота растений. Составлялись крупномасштабные карты растительности (Приложение 3) за 2013-2017 гг. наблюдений.



Рис. 28 – Геоботаническая площадка на модельном раздуге (фото Лоботросовой С.А., 2014 г.)

Сравнение видового состава растительности с основными растительными сообществами, наиболее распространенными на изучаемом песчаном раздуге, показало высокую степень сходства (коэффициент Жаккара 82%). Это позволяет

сделать вывод о типичности данной геоботанической площадки и отнести полученные результаты по динамике растительности в целом на модельную котловину выдувания.

Результаты сравнения описания растительности за 2013, 2014 и 2016, 2017 гг. на геоботанической площадке показывают, что постепенно происходит увеличение встречаемости растительности и уменьшение видового разнообразия (приложение 4).

Всего на площадке встречается 5 видов. Фитоценозы в основном одноярусные. Доминирующим видом в данном сообществе является овсяница овечья с более высокой степенью обилия, вторым видом считается вейник Лангсдорфа с меньшим обилием. Травянистые растения данного сообщества принадлежат к дерновинным многолетникам, что объясняет их доминирование на участке с активным развиванием песка. На площадке за годы наблюдения также проявляется увеличение степени проективного покрытия растительности одного вида и исчезновение другого (рис. 29).

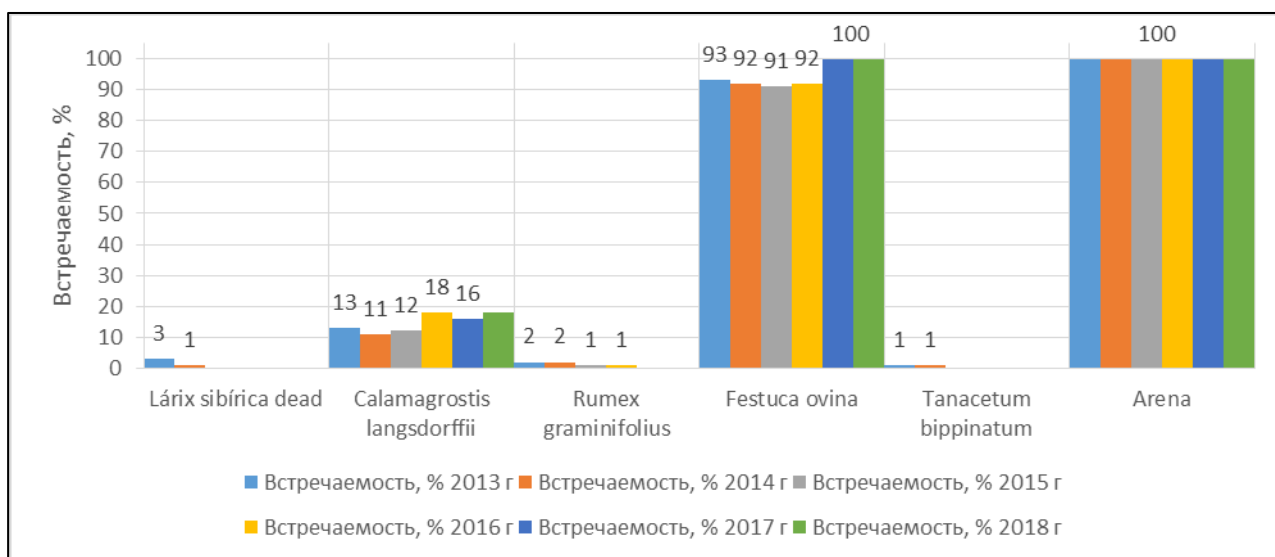


Рис. 29 – Изменение встречаемости в % на геоботанической площадке за годы наблюдений.

Происходят изменения и по высоте растений, в 2013 году наблюдались более высокие значения для вейника Лангсдорфа (*Calamagrostis langsdorffii*) и к 2017 году средние показатели стали ниже в 1,4 раза (рис. 30).

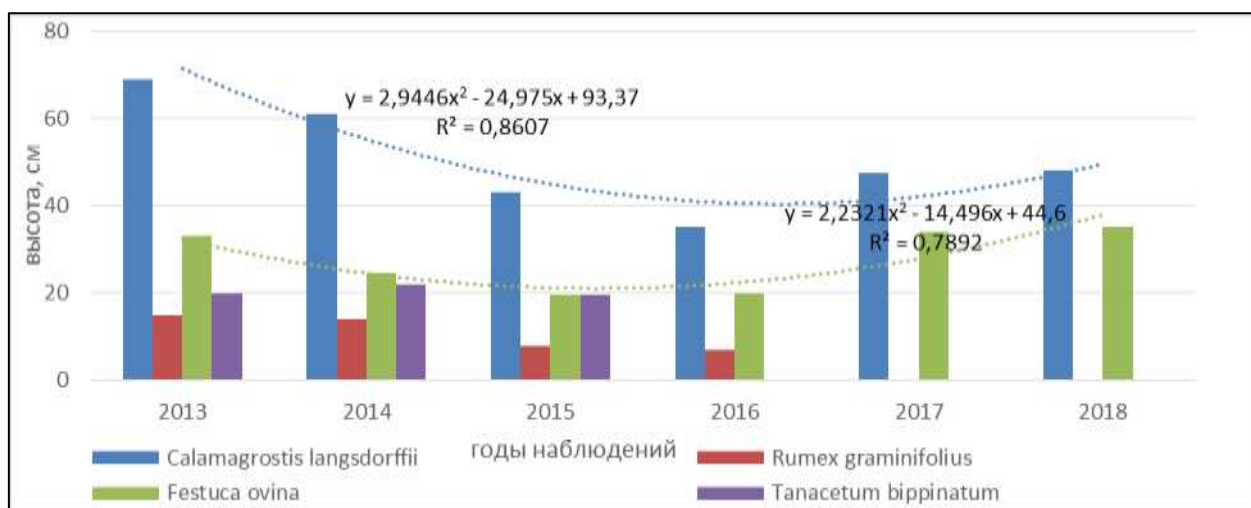


Рис. 30 – Изменение средней высоты растений, преобладающих на геоботанической площадке.

У остальных видов параметры высоты остаются неизменными. По крупномасштабным картам растительности (приложение 3) прослеживается увеличение разрозненности микрогруппировок растений между собой с годами. Если в августе 2013 года контуры микрогруппировок были более массивные, то в августе 2017 года их становиться больше, но меньшей площади. Этому свидетельствует увеличение встречаемости у доминирующих видов и уменьшения у второстепенных. У доминирующих видов с годами происходит увеличение встречаемости начиная с 2013 года встречаемость овсяницы овечьей к 2018 году увеличилась 1,1 раз, а вейника Лангсдорфа в 1,3 раз (рис. 31).

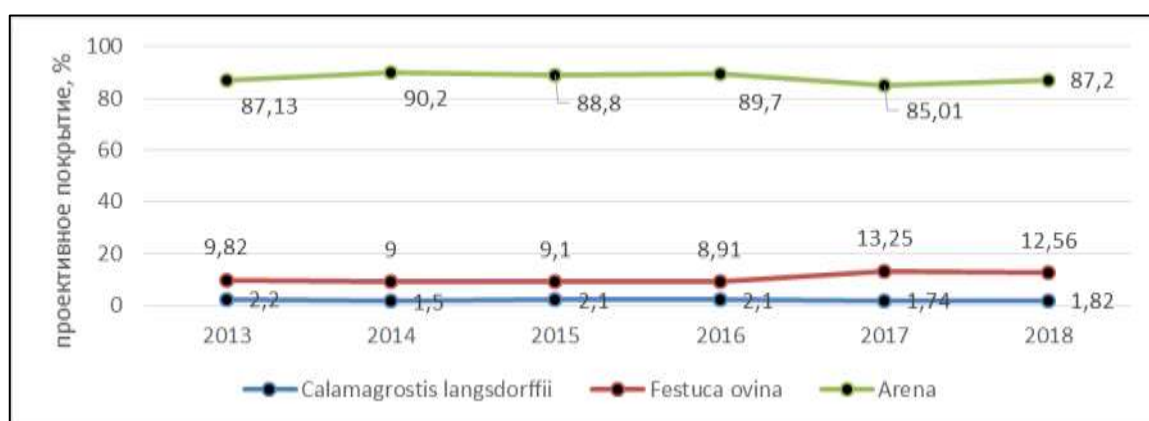


Рис. 31 – Изменение общего проективного покрытия за годы наблюдений.

Пространственная структура данной площадки изменилась мало, доля песка за 2013 -2017 годы имела тенденцию к уменьшению. Но в 2018 году произошло

незначительное увеличение. Это подтверждает тот факт, что действующее механическое воздействие песка при ветре мешает процессам зарастания. Анализ влияния климатического фактора подробно рассматривается в следующей главе.

В результате активного передвижения песчаных массивов по сторонам действия преобладающих ветров наблюдается засыпание коренных растительных сообществ. И растительность вслед за песчаными массами находится в постоянной динамике. Вследствие этого зарастание эоловых форм имеет свой набор сукцессионных рядов.

Динамику сукцессионных процессов на песчаных раздувах изучали многие ученые в разных регионах нашей страны и Зарубежья (Лавренко, 1927; Дубянский, 1949; Гордиенко, 1959, 1961, 1964; Иванов, Дрюченко, 1962; Зюзь, 1968; Разумова, 1970; Шилова, 1977; Пристяжнюк, Телятников, 1977; Магомедова, Морозова, 1995, 1997; Гаель, Смирнова, 1999; Кулюгина, 2004; Коронатова, 2004; Касьянова, 2007, 2014; Эктова, 2008; Ермохина, 2009; Миляева, 2011; Капелькина, 2012; Дулепова, 2015; Капитонова, 2016). Сравнимый объем работ был проведен и на территории республик Средней Азии (Гаель, 1951; Дьяченко, Макарычев, 1959; Калинина, 1961; Левина, 1961; Курочкина, 1966, 1978; H. Olson 1974; Cole et al., 1995; Aarde et al., 1996; Hesse, Simpson, 2006; Smith et al., 2008; Kuiters et al., 2009; Рахмонов, Снытко, Щипек, 2009; Fujiwara et al., 2010; Song et al., 2010; Çakan et al., 2011; Prisco, Acosta, 2012; Неронов, 2013 и др.)

По указанным литературным данным основным элементом пространственной структуры растительности по динамическим категориям являются стадии сукцессий. Авторами также используются различные методы выделения стадий сукцессий. В основном большая часть исследователей выделяет стадии сукцессии с учетом проективного покрытия, обилия и жизненной формы растений.

Пионерные или начальные стадии зарастания песков различного генезиса в различных регионах сходны. Пионерными видами почти во всех случаях выступают растения псаммофиты. Так же некоторыми авторами отмечается высокая чувствительность восстанавливающей растительности к хозяйственной

деятельности человека. Поэтому в большинстве случаев при имеющихся природных факторах (наличие мощных песчаных отложений и сильных ветров) на территориях где проявляется хозяйственная деятельность человека происходит не зарастание, а наоборот развитие процессов дефляции и угнетение фитоценоза.

В результате этого первичные стадии сукцессии зачастую сменяются процессами дефляции.

Показано, что исходный состав растительности и на сильно перевеянных песках не восстанавливается до коренных сообществ (Гаель, 1951; Магомедова, Морозова, 1977).

В большинстве случаев растительность начальных стадий зарастания представлена в основном злаками и разнотравьем, что подтверждают и наши результаты исследований. Затем появляются кустарнички, мхи и лишайники и проективное покрытие возрастает до 50 %, происходит закрепление песчаной толщи и перевивание прекращается. Однако возможно и разрушение образовавшихся сообществ, вследствие изменения текущих условий, и последующая стадия повторяется вновь. Это говорит о том, что стадии сукцессии идут не одна за другой, но и могут существовать и протекать параллельно. В том случае, когда развеивание песка прекращается уже на начальной стадии может появиться лишайниково-моховый покров и происходит зарастание до образования квазикоренного сообщества (Телятников, Пристяжнюк, 1977; Кулюгина, 2004; Корнаторова, 2004)

Важной особенностью протекания сукцессий на техногенных песках является отсутствие или совсем незначительное участие мхов, лишайников, кустарничков на первых стадиях зарастания. Антропогенные условия увеличивают роль трав в зарастании открытых песков.

Наиболее хорошо изучены процессы естественного восстановления растительности на песчаных карьерах в средней и северной тайге Западной Сибири (Шилова, 1977; Корнаторова, 2004; Коркина, 2005 и др.). Зарастание карьеров происходит в среднем от 5 до 18 лет. И.И. Шилова (1977) выделяет 4

стадии восстановления растительности, рассмотренные также в 1 главе настоящей работы.

Заращение карьеров всегда начинается с более увлажненных территорий. Далее уже на защищенных склонах карьера образуется маломощная травянистая растительность, которая становится препятствием развития дефляции.

Н.Г. Корнатов (2004) установила, что для травяного заращения карьеров определяющим фактором является близкое залегание к поверхности грунтовых вод. При глубоком залегании происходит развитие лесного фитоценоза - на супесчаный грунт поселяется береза, а на пески - сосна. Успешному заращению в целом способствуют тяжелый гранулометрический состав молодых почв, обогащение элементами питания, меньший угол наклона борта карьера и скрепление поверхности песка мхом.

С другой стороны, исследования, проведенные Москаленко Н.Г. (1999) вдоль газопровода Надым-Пунга, показали, что на участках строительства по причине эолового переноса, термокарста и дефляции (для холмистых участков и прибрежных частей террас) за 17 лет в различных пикетах первоначальная площадь нарушений возросла от 2 до 30%. Отмечено, что уничтожение растительного покрова на участках плоских и пологоволнистых дренированных равнин, сложенных песками, приводит к развитию эоловой дефляции. При этом в условиях кустарничково-лишайниковой пятнисто-бугорковой тундры слой песка в 20 см является препятствием для возобновления растительности. В целом наблюдения указывают на более длительный срок восстановления растительных сообществ на нарушенных территориях даже при наличии благоприятных условий.

Для эоловых песков природного происхождения в Забайкалье Н.А. Дулепова (2014) выделила следующие стадии сукцессии дивергентно-конвергентной серии моноклимакса:

1. оголенных песков;
2. с доминированием однолетних растений;
3. с доминированием длиннокорневищных растений;

4. с доминированием стержнекорневых многолетних растений и полукустарничков;
5. гемипсаммофитной степи, зарослей кустарников и ильмовых редколесий.

Для выявления стадий сукцессий на песках северной тайги Западной сибире применялся метод сравнительного изучения сообществ (Полевая геоботаника, 1964). Заложение геоботанических профилей через основные формы мезорельефа позволяет проследить основные взаимосвязи растительности с рельефом (Юнатов, 1964). Подробное описание распределения сообществ мы наблюдали при описании геоботанического профиля, заложенного в центральной части модельного песчаного раздува на второй надпойменной террасе р.Надым.

Профиль протяженностью 300 м, ориентированный с СЗ на ЮВ был заложен в августе 2013 года. Профиль представляет типичные эоловые формы мезорельефа: две параболические дюны, различные по размеру и степени закреплённости растительностью и междюнные выровненные пространства. Пространственное распределение фитоценозов показано в разделе 3.2 на рис.14. Основным фактором, влияющим на распределение растительности, является форма мезорельефа (крутизна склонов, экспозиция), которая зависит от направления преобладающих ветров. Наиболее резкие отличия наблюдаются при переходе от подветренных склонов к междюнным понижениям. Разнообразие сообществ является следствием происходящей сукцессии.

Помимо построения фитоценологических рядов для выделения стадий сукцессий на подвижных песках мы также использовали метод инициальных видов (Полевая геоботаника, 1964). В качестве индикаторов начинающейся смены были выбраны стенотопные виды – псаммофиты. Учитывался процент чиста псаммофитов от общего проективного покрытия. Результат изображен на рис.32. Прослеживается корреляция с увеличением проективного покрытия уменьшается число растений псаммофитов. Об этом упоминается и в других исследованиях стадий зарастания песчаных раздувов (Шенников, 1950, Дулепова, 2014).

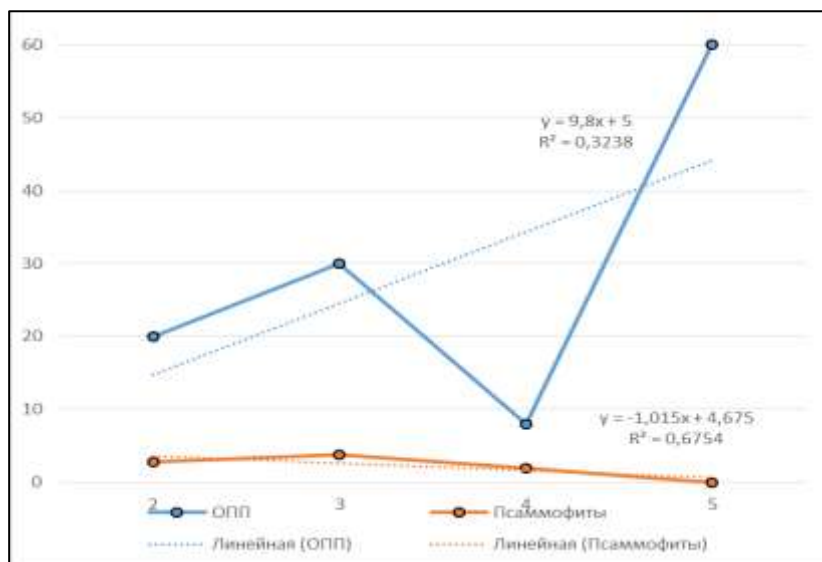


Рис. 32 – Распределение фитоценозов с псаммофитной растительностью в зависимости от общего проективного покрытия. Цифрами обозначены фитоценозы: 2 – пижмово-овсяницевый; 3 – овсяницево-вейниковый; 4 – овсянице-политриховый; 5 – фитоценоз лишайниково-мохово-кустарничкового соснового редколесья.

Заращение песка при тенденции к стабильности песчаного субстрата сопровождается вытеснением псаммофитов и заселением представителей местной флоры растительных сообществ, развивающихся на песчаных почвах.

В целом, сравнивая стадии зарастания оголенных песков в разных природных зонах можно выделить схожие черты этого процесса.

На эоловых песках естественного происхождения в северо таежной зоне Западной Сибири нами было выделено шесть стадий сукцессии в направлении к стабилизации песчаных массивов, отображённых в таблице 9.

Сукцессии фитоценозов на исследуемом песчаном раздуде определяет ветровая нагрузка, обуславливающая формирование и перемещение элементов мезорельефа. Закономерная смена этих элементов (наветренная сторона – бугор – подветренная сторона – котловина) определяет облик растительных сообществ в данный момент времени. Нами выделен новый тип первичной сукцессии растительности – эоловая экзогенетическая (аллогенная), имеющая два основных направления – циклическое и линейное.

Таблица 9 – Стадии сукцессии песчаного раздува в северной тайге Западной Сибири.

Элементы мезорельефа	Стадии сукцессии	Фитоценоз
Наветренные склоны	I. Отсутствие растительного покрова	-
Вершины дюны	II. Доминирование многолетних дерновинных трав	Пижмово-овсяницевый
Подветренные склоны	III. Доминирование многолетних длиннокорневищных стержнекорневых	Овсяницево-вейниковый
Котловины между дюнами	IV. Доминирование многолетних дерновинных трав и лишайниково-мохового покрова	Овсяницево-политриховый
Анклавы	V. Доминирование мохово-лишайникового покрова с участием древесно-кустарниковой растительности сосновых редколесий	Лиственнично-сосновый мохово-лишайниковый
Климакс	VI. Редкостойные лишайниковые сосняки на подзолах иллювиально-глеевых	Редкостойный лиственнично-сосновый кустарничково-мохово-лишайниковый

Циклические флуктуации соответствуют закономерной смене основных элементов мезорельефа (наветренный склон, вершина дюны, подветренный склон, котловина между дюнами) и включают в себя четыре стадии. Линейное направление сукцессии развивается случае прекращения движения песчаных дюн и проходит 6 стадий до образования устойчивого климаксового сообщества (рис. 33).

Исходной причиной прогресса растительного покрова в том или другом направлении стабилизации обусловлено относительным постоянством или сменой направления преобладающих в летний период ветров. Наши данные дендрохронологического анализа возраста древесных насаждений в «анклавах» (временные молодые лиственнично-сосновые мохово-лишайниковые фитоценозы) песчаного раздува и соседнем редкостойном лишайниковом сосняке позволяют говорить о том, что для возникновения климакса необходимо постоянство розы ветров более чем 150 лет. Это подтверждается дендрохронологическими исследованиями Бочкарёва Ю. Н. в рамках выполнения

работ по гранту № 16-45-890529р-а, 16-45-890529, изложенными в предыдущей подглаве.

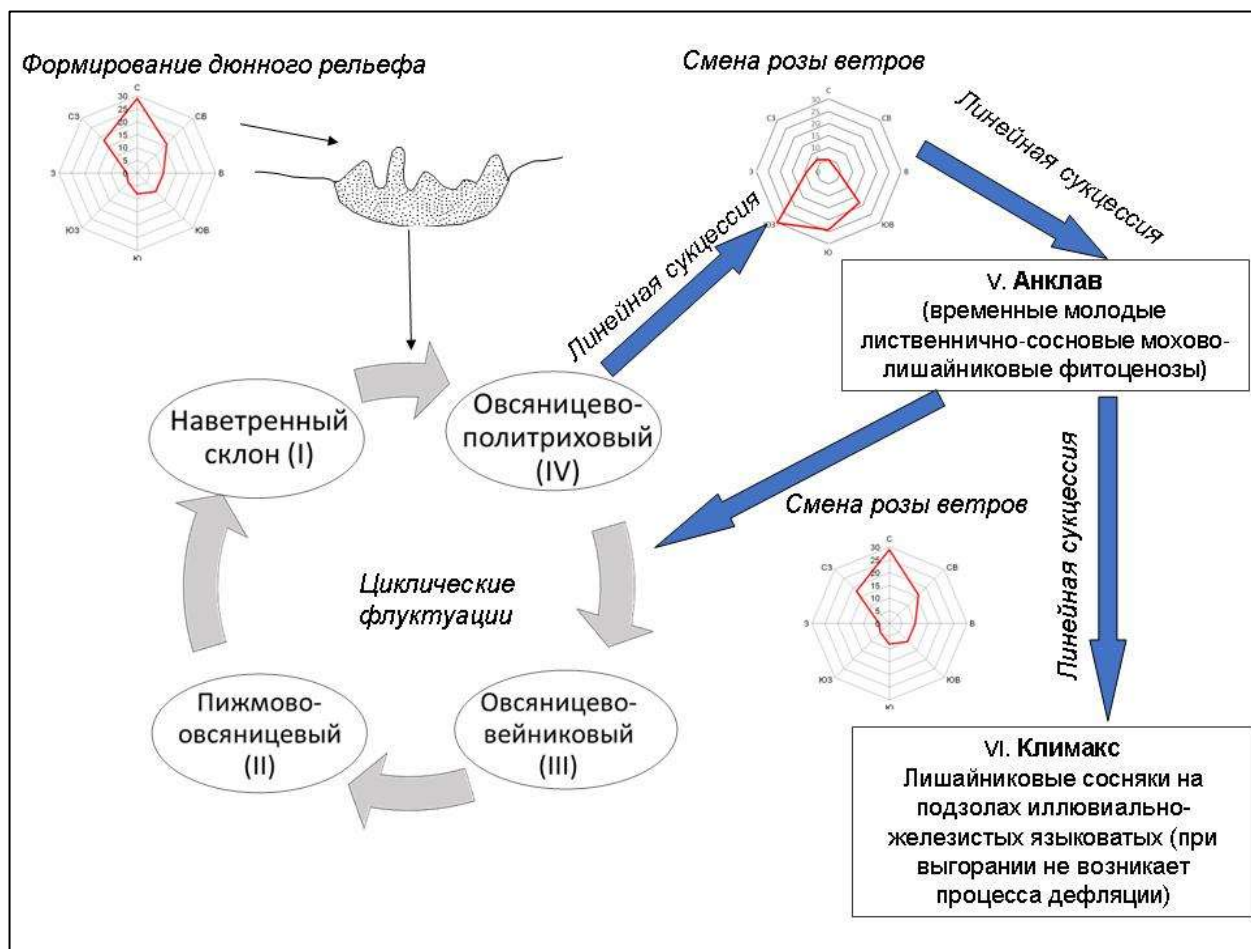


Рис. 33 – Сукцессия фитоценозов песчаного раздуга.

Эта схема даёт лишь общее направление зарастания песков подзоны северной тайги Западной Сибири, постепенно сменяя голые пески к заросшим участкам. Как было рассмотрено в начале главы, процессы зарастания открытых песков очень длительны по времени, что объясняется постепенным перемещением песчаного материала под действием сильных ветров. Которое не прекращается даже в зимний период.

Стабилизацию песчаных отложений в пределах исследуемой модельной котловины выдувания можно наблюдать на антропогенно нарушенных территориях песчаного карьера, площадки водозабора и на территориях уже

пройденных основными песчаными массами. Располагаются такие участки в основном по преферии песчаных раздувов.

Описание стадий сукцессий на подвижных перевеваемых песчаных раздувах при циклической флуктуации.

Первая стадия или стадия отсутствия растительного покрова наблюдается на наветренных склонах гряд или дюн. Отсутствует растительность и на небольших открытых участках хорошо проветриваемых и образующих микрорельеф из песчаной ряби и микробугорков. Открытые песчаные пространства после разрушения остатков растительности и почв являются основой для первичной стадии сукцессии.

Вторая стадия на исследуемом песчаном раздуве наступает с поселением на открытом песке дерновинных видов растений (овсяница овечья), создавая тем самым препятствия для перемещения песка и образование микробугорков и последующего поселения видов длинокорневищных и стержнекорневых (пижма дваждыперистая). Виды разнотравья встречаются здесь в виде примеси.

На исследуемом песчаном раздуве данная стадия представлена пижмово-овсянничевым фитоценозом, приуроченная к возвышенным элементам рельефа. Данная сукцессия образуется в течении одного-двух лет, далее с основным движением песчаных масс начинает двигаться и растительность. Постепенно засыпая одни виды и образуя другие. Общее проективное покрытие растительностью около 13-18 %. Подробная характеристика отображена в предыдущей подглаве. Следует отметить, что сформировавшиеся фитоценозы невелики по площади и разбросаны по площади песчаного раздува и никак не связаны друг с другом.

Третья стадия представлена овсяничево-вейниковым фитоценозом. Типичное местоположение на поверхности песчаного раздува это подветренные склоны и те участки, где ветровая нагрузка снижена. Фитоценозы одноярусные, общее проективное покрытие в среднем составляет 20-25%. Доминирует вейник Лангсдорфа и овсяница овечья. Постоянно присутствуют ястребинка зонтичная, щавель злаколистный. Данная стадия сукцессии аналогична второй стадии для

открытых подвижных песков бассейна р.Ортина припечерских тундр. Показано, что на вторых-третьих стадиях сукцессии преобладают длинокорневищные, дерновинные и стержнекорневые злаки. Общими видами являются близкородственная овсяница красная, пижма дваждыперистая и щавель злаколитный (Кулюгина, 2004). Следует отметить, что третья стадия сукцессии протекает в местах с пониженной ветровой нагрузкой. Для подвижных песков северной тайги Западной Сибири нами отмечено поселение только травянистой растительности на второй стадии, на третьей стадии возможно присоединение ив и берез.

Процессы формирования растительности на подвижном субстрате имеют свои особенности. Они протекают очень медленно и подвержены цикличности, как отмечается в наших исследования растения подвержены постоянной гибели при перемещении песчаных масс. Это подтверждается наличием переходных зон с отмирающими растениями в междюнных пространствах. Об это также неоднократно упоминалось и у других исследователей (Магомедова, Морозова, 1997, Пристяжнюк, 1997, Кулюгина, 2004 и др.). В том случае, если площадь раздува небольшая, то на них возможно формирование сомкнутого растительного покрова при стабилизации песчаного субстрата.

Линейная сукцессия на стабилизировавшихся песках с выровненной поверхностью и в понижениях. При стабилизации происходит переход из циклических флуктуаций в тип линейной сукцессии. В нашем случае это может происходить после третьей стадии сукцессии при стабилизации почво-грунта. Четвертая стадия сукцессии характеризуется формированием мохового яруса в междюнных понижениях и местах где мощность песка минимальна. Для междюнных котловин из-за смены экологических условий третья стадия заканчивается образованием овсянице-политриховых фитоценозов, образованных на супесчаном грунте. На данной стадии к овсянице овечьей присоединяются споровые растения (политрихум и кладония), а также всходы деревьев (сосна сибирская).

Далее на участках, стабилизирующихся и не подверженных действию ветра и песка начинается пятая стадия зарастания – образование «анклава» (рис.34).



Рис. 34 – Начало образования «анклава» (фото Соромотин А.В., 2016 г.)

Заселяются лишайники и некоторые виды кустарничков (багульник, голубика, черника) и появившиеся на третьей стадии всходы деревьев (сосна обыкновенная, сосна сибирская, береза извилистая) и кустарников (ива прутовидная) начинают активный рост. В результате образуется лиственнично-сосновый мохово-лишайниковый фитоценоз. Стадия анклава сукцессии при стабилизации длится в течение 30-35 лет при условии постоянного направления преобладающих ветров. При смене направления ветра, образованные фитоценозы могут быть занесены песчаными массами и погребены. В этом случае на песчаных массах вновь возникает угнетение и отмирание растений и образуется первая стадия сукцессии подвижных песков.

Заключительной стадией сукцессии на песчаных раздувах в северной тайге Западной Сибири является образование климаксового фитоценоза редкостойных лиственнично-сосновых кустарничково-мохово-лишайниковых лесов на подзолах иллювиально железистых. По данным исследований при стабильных внешних условиях эта стадия имеет возраст 150-200 лет.

Изменение параметров сообществ в ходе зарастания.

Число видов. На начальных стадиях сукцессии подвижных песчаных раздувов происходит незначительное увеличение числа видов. При этом на раздуваемых песках нами отмечено преобладание только сосудистых растений. При стабилизации песчаного субстрата отмечается преобладание мохового и кустарничкового яруса. Данное обстоятельство подтверждается ежегодными описаниями на геоботаническом профиле в центральной и восточной частях песчаного раздува (рис. 35)

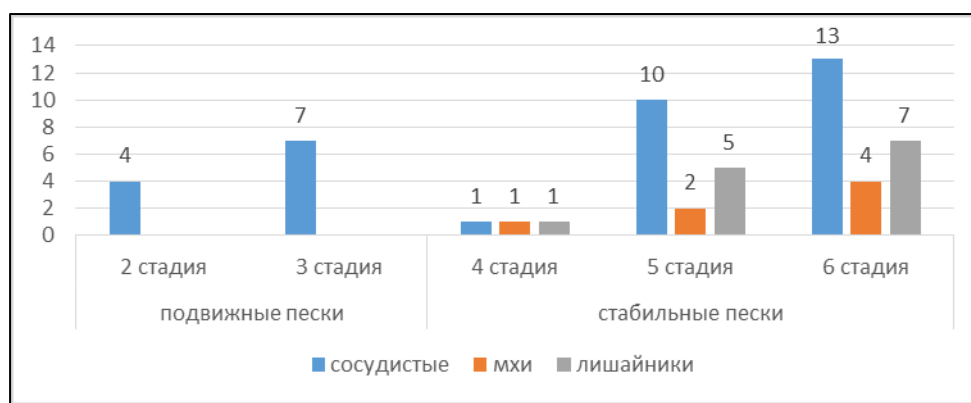


Рис. 35 – Изменение количества видов на разных стадиях сукцессии.

Цифрами обозначены фитоценозы: 2 – пижмово-овсяницевый; 3 – овсяницево-вейниковый; 4 – овсянице-политриховый; 5 – фитоценоз листовично-сосновый мохово-лишайниковый 6 – редкостойный листовично-сосновый кустарничково-мохово-лишайниковый лес.

Флористический состав второй и третьей стадий сукцессии на подвижных песках меняется как количественно, так и качественно.

Открытые перевеваемые пески закрепляет дерновинный злак – овсяница овечья с небольшим участием пижмы дваждыперистой.

На третьей стадии к ним присоединяются еще 6 видов – вейник Лангсдорфа, ястребинка зонтичная, щавель злаколистный, золотая розга, единичные берёзы извилистые и кустарники ивы прутовидной.

На четвертой стадии происходит не только смена флористического состава фитоценоза, но и почвенных условий. На этой стадии при стабилизации песка

происходит выбывание злаков – вейника Лангсдорфа, пижмы дваждыперистой, ястребинки зонтичной и заселение политрихума торчащего. Происходит выбывание и псаммофита щавеля злаколистного. Количество видов снижается до 2.

На заключительной стадии к моховому покрову, состоящему преимущественно из политрихума торчащего и можжевельниковидного присоединяются лишайники (пармелия бороздчатая, алектория охристая, цетрария снежная, цетрария клобучковая, кладония звёздчатая, кладония оленья, кладония альпийская) и кустарнички (голубика обыкновенная, брусника обыкновенная, багульник болотный, черника обыкновенная, толокнянка альпийская, вороника чёрная). Также появляются прорости деревьев (береза извилистая, сосна сибирская, сосна обыкновенная, лиственница сибирская) и кустарники из ивы прутовидной и трёхтычинковой. Количество видов увеличивается до 18.

Пространственная структура прослеживается в изменении проективного покрытия. Изменения общего проективного покрытия можно проследить по геоботаническим профилям (рис. 36, приложение 5).

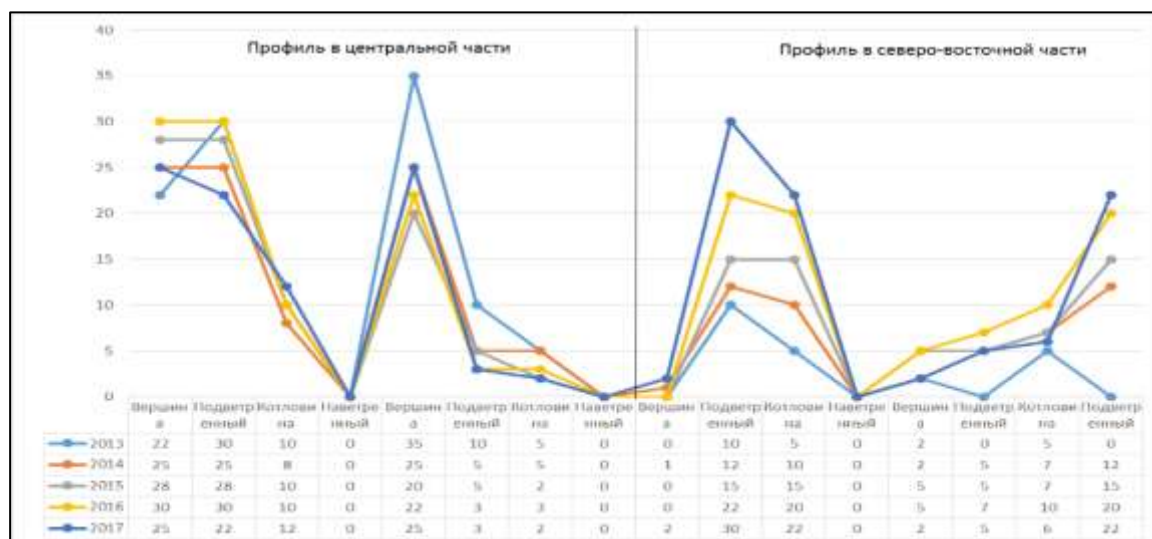


Рис. 36 – Изменение параметров общего проективного покрытия на геоботаническом профиле за годы наблюдений (август 2013-2017 гг.)

Заметно, что проективное покрытие различно в разных сторонах песчаного раздува, но прослеживается тенденция изменения от вершины к подветренному склону в сторону повышения и от подветренного к котловинам в сторону уменьшения.

Если рассматривать все стадии сукцессии то видно, что при стабилизации песка на последних стадиях происходит резкое увеличение общего проективного покрытия (рис.37).

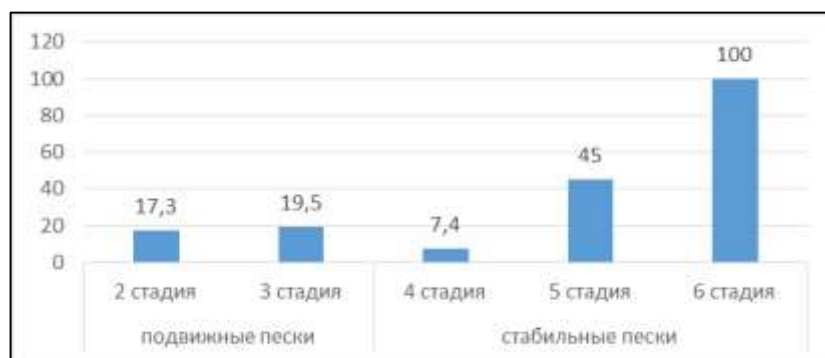


Рис. 37 – Изменение общего проективного покрытия в ходе зарастания песчаных обнажений.

Рассматривая формирование растительности на песчаных раздувах, следует отметить, что начальные стадии сукцессии представлены в основном в центральной части котловин выдувания. Здесь активизируются в основном злаковые растения, способные противостоять действию ветра и песка. Последующие стадии представлены в основном на периферийных частях котловин выдувания, где увеличивается роль споровых растений (политрихум) и кустарничков (толокнянка альпийская, обыкновенная) (рис.38).



Рис. 38 – Схема динамики растительности модельной котловины выдувания (составлена автором по данным Google Earth)

Доказательством сукцессионных изменений служит то, что для всех стадий формирования растительных фитоценозов соответствует общая группа видов, постепенная смена доминантов, увеличение постоянства и разнообразия видов, увеличение проективного покрытия и стадии формирования подзолов

иллювиально-железистых и языковатых, которые будут рассмотрены в следующей главе.

Кроме того, зарастание перевиваемых и стабильных песков происходит по-разному. Для подвижных песков характерно образование разреженных сообществ из видов трав, способных закрепляться и существовать в данных условиях. Для стабильных песков главная роль принадлежит споровым растениям (Евстигнеев и др., 2013; Дулепова, 2014). Далее развиваются кустарнички, кустарники и деревья. Хотелось отметить, что ход сукцессии на песчаных образованиях в различных природных зонах России имеет схожие черты. Так сукцессионный ряд сосновых лесов зандровой местности в Неруссо-Деснянском полесье после прохождения низинных пожаров на первых стадиях характеризуется преобладанием мохообразных (*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., *Dicranum scoparium* Hedw), злаков (вейник наземный и овсяница овечья) и бореальные виды кустарничков (*Vaccinium vitis-idaea* L., *V. myrtillus* L. и др.). Как и в наших исследованиях на стабильном субстрате первыми видами являются мхи (политрихум торчащий). Так же разницы сообщества и по положению в рельефе. На вершинах грив в полесье преобладает сосняк бруснично-зеленомошный, а на склонах преобладает сосняк чернично-зеленомошный, что характерно и для климаксового сообщества в наших исследованиях. Отличительной чертой исследованных нами сообществ является участие лишайников и отсутствие их в лесах полесья. В древесном ярусе также, как и в сообществах северной тайги преобладает сосна обыкновенная и береза пушистая (у нас извилистая). Заключительные стадии сукцессии отличаются появлением зональных видов деревьев и кустарников (дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), ель обыкновенная (*Picea abies* (L.) Karst.), клен остролистный (*Acer platanoides* L.), липа сердцелистная (*Tilia cordata* Mill.), осина (*Populus tremula* L.) и яблоня лесная (*Malus sylvestris* Mill.), лещина обыкновенная (*Corylus avellana* L.) и бересклет бородавчатый (*Euonymus verrucosa* Scop.). На повышенных участках зандровых местностей выделяется следующий сукцессионный ряд: сосняк зеленомошный бореальный → сосняк кустарничково-зеленомошный → березово-дубово-елово-

сосновый лес → полидоминантный елово-широколиственный лес. На склоновых частях рельефа выявлены следующие сукцессионные преобразования: сосняк долгомошный → сосняк чернично-долгомошный → березово-дубово-елово-сосновый лес → полидоминантный елово-широколиственный лес (Евстигнеев и др., 2013).

Выделенные нами варианты зарастания являются стадиями сукцессий песчаных раздувов северной тайги Западной Сибири. Стадии зарастания на оголенных песках протекают очень медленно и сильно зависимы от внешних факторов. В результате стабилизации мощных толщ песка растительность восстанавливается до лишайниковых сосняков на подзолах иллювиально-железистых языковатых. В случае выдувания песчаного субстрата и обнажения коренных пород растительные сообщества восстанавливаются до коренных сообществ березово-сосновых зеленомошных лесов на подзолах глеевых иллювиально-железистых.

Но для оценки зарастания в любой зоне важно учитывать условия увлажнения, рельеф, характер окружающей растительности, площади обнажений, механический состав грунтов, их подвижность и условия снегозадержания (Шилова, 1977; Сумина, 1997, Миронова, 2000).

Как показали наши исследования, описанные в следующей главе, степень зарастания, видовое разнообразие песчаных раздувов зависит от степени увлажнения почв, от микрорельефа, климатических факторов, прежде всего от скорости ветра и осадков, от агрохимических свойств грунта и гранулометрического состава.

Глава 4 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ПЕСЧАНОМ РАЗДУВЕ

Восстановление растительного покрова на песчаных пустошах зависит от экологических факторов среды.

Экологические факторы делятся на абиотические, то есть факторы неорганической, или неживой, природы, и биотические, порожденные жизнедеятельностью организмов. Совокупность абиотических факторов в пределах однородного участка называется экотопом, вся совокупность факторов, включая биотические (Миркин, Наумова, 2001).

К абиотическим факторам относятся:

климатические – свет, тепло, воздух, вода (включая осадки в различных формах и влажность воздуха)

эдафические, или почвенно-грунтовые, гранулометрический и химический состав почвы, ее водный и температурный режимы;

орографические – характеристики рельефа.

Прямые экологические факторы непосредственно влияют на растения. К примеру: увлажнение, температура, минеральный состав почв и др.

Косвенные экологические факторы действуют на растения опосредованно – через прямые факторы среды. К примеру географическая широта, рельеф (высота над уровнем моря и экспозиция склона), гранулометрический состав почвы.

Биотические факторы являются следствием взаимоотношений организмов. Для растений – это конкуренция, влияние животных и микроорганизмов (Миркин, Наумова, 2001).

В настоящее время эоловые формы рельефа северной тайги Западной Сибири подвержены некоторой динамике (Сизов, Лоботросова, 2015). В соответствии с результатами проведенных исследований общими природными экологическими факторами, которые непосредственно влияют на развитие эоловых форм, в том числе на условия формирования растительности на

оголенных песках, являются (Аристархова, 1971; Федорович, 1983; Арнагельдыев, 1990; Гаель, Смирнова, 1999):

- геологическое строение (наличие горных пород, которые потенциально могут трансформироваться в результате ветрового воздействия (песок, лесс);
- характер рельефа;
- климатические показатели (температура воздуха, сила и режим преобладающих ветров, характер увлажнения);
- особенности почвенного покрова
- характер растительности, окружающей песчаное обнажение;
- ландшафтная структура.

4.1 Геологические условия и мезорельеф

В нижнем и среднем плейстоцене происходило развитие максимальной (Ямальской) трансгрессии морского бассейна. Сформировавшаяся в результате трансгрессии толща морских отложений венчается осадками с полуйской, казымской и салехардской свитой, наиболее распространенными в районе исследований. Они слагают V морскую равнину, занимающую центральную часть Пур-Надымского водораздела (Андреев, 1971).

Четвертичные отложения имеют повсеместное распространение, большие мощности и пестрый литологический состав. Отложения разделяются на две свиты- казымскую и салехардскую (Лазуков, Рейнин, 1961). Эти отложения представлены переслаиванием суглинков, супесей, алевроитов серых и зеленовато-серых, с подчиненными прослоями песков (Евсеев, Федоров, 1953; Хлебников, 1954; Гройсман, 1954; Чекунова, 1954; Евсеев, Рейнин, 1956; Пих, 1971; Мельников, 1974; Каплянская, 1982; Прусаков, 1989).

Эоловые отложения образуются вследствие современного развеивания песков. Они встречаются почти повсюду и связаны со всеми, если тому

способствует литологический состав, типами осадков и залегают в виде обособленных полей. Раздуваемые пески наблюдаются как в долинах, так и на водоразделах. Как было рассмотрено ранее наибольшее развитие они получили в долине р. Надым, а именно в пределах хорошо дренируемых и глубоко прогреваемых участков второй надпойменной террасы. В глубине долин и на водоразделах эоловые накопления наблюдаются, главным образом, на камовых повышениях и грядах (Хлебников, 1954).

В большинстве случаев эоловые формы имеют блюдцеобразную форму в центральной части западина, а по краям аккумулятивный вал, достигающей высоты до 10 м.) Основными формами аккумулятивного рельефа являются дюны и дюнообразные накопления песков, валы, а также площадные наносы эоловых отложений. К отрицательным дефляционным формам рельефа относятся котловины и площадки выдувания. Дефляционные котловины располагаются обычно на развееваемых вершинах песчаных холмов и возвышенностей.

Исследуемый песчаный раздув относится к котловине выдувания и имеет схожие черты мезорельефа с аналогичными образованиями подзоны северной тайги.

Характер рельефа является косвенным экологическим фактором, влияющим на способность закрепления растительности на песчаных массивах. Но в то же время мезо- и микрорельеф оказывают значительное влияние и на почвообразование, так как от него зависит перераспределение поверхностного и грунтового стока, и, следовательно, дифференциация растительного покрова и почв в условиях однотипных песчаных пород таежной зоны. Скорость зарастания песчаных обнажений зависит от экспозиции и крутизны склонов (Кузнецова, 1960; Дьяконов, Ретеюм, 1969; Караваева, 1969; Добровольский Никитин, Афанасьева, 1977).

Как было описано ранее зональный тип рельефа отличается преобладанием форм, образованных вследствие выдувания, раздувания и перевевания, навевания.

Процесс раздувания характеризуется надвиганием песчаного покрова, перемещаемого при помощи господствующих ветров и оседание мельчайших

частиц, также переносимых ветром. Для изучаемой территории характерен тундровый тип перевивания (Федорович, 1983). Данный тип относится к очаговому, сезонному перевиванию песков раздувов, для которого характерно крайне неравномерное развитие преимущественно в летний период. В результате возникают барханные пески и грядовые формы заросших песков в дельтах рек. Однако, перевивание возможно и в зимний период, это отражается в чередовании песка и снега на подветренной стороне дюн (Кулик, 1928).

Под влиянием господствующих ветров и активизации эоловых процессов возникают такие формы мезо- и микрорельефа (Гаель, Смирнова, 1999; Рычагов, 2006; Щеглов, 2017):

- эоловая рябь;
- дюнные всхолмления и гряды;
- бугристо-котловинные пески;
- эрозионные песчаные останцы; пятна и котловины выдувания.

С помощью ветра на модельной котловине выдувания формируются три генерации дюн и котловины между ними под действием северо-западных, северо-восточных и юго-западных ветров (рис. 39).

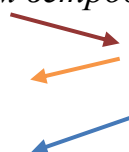
На поверхности исследуемого песчаного раздува выделяются основные формы мезорельефа такие как дюнные валы и котловины между ними (Леонтьев, 1979, Гаель, Смирнова, 1999; Рычагов, 2006; Щеглов, 2017). У каждого дюнного вала имеется наветренная, подветренная сторона, вершина и котловина. Средняя высота дюнных валов составляет 1,5-2 м. Таким образом выделенные в 3 главе фитоценозы расположены на вершине, подветренном склоне и в котловинах между дюнами. Однако, большая часть песчаного раздува состоит из наветренных голых участков, что препятствует закреплению растительности. Распределение растительного покрова в пространстве отображено на рисунке 38 в предыдущем разделе.



Рис. 39 – Цифровая модель рельефа центральной части раздува (в окне интерфейса программного комплекса ArcGIS)

Стрелками показаны различные генерации дюн, формирующиеся под действием ветров:

- юго-западного направления –
- северо-восточного направления –
- северо-западного направления –



Геологическое происхождение песков формирует определенный минеральный состав почвообразующих пород. Минеральный состав песков определяет химическое состояние, запас элементов питания, и, следовательно, и процессы почвообразования (Бридицкайте, 1971; Самойлова, 1983).

Для изучения геологических условий, как фактора влияющего на произрастание растительности, были взяты пробы песка модельной котловины выдувания для определения гранулометрического состава.

От гранулометрического состава пород зависят водные, температурные и физико-химические свойства молодых почв, а также характер зарастания. Гранулометрический состав почв является очень важным экологическим фактором, участвующим в повышении степени плодородия почв и как следствие повышению произрастания растительности. Гранулометрический состав в большей степени определяет степень гумусированности почвы. В почвах с легким гранулометрическим составом наблюдается низкая поглотительная способность и

обеднение питательными веществами. Из-за высокой аэрации почвы образуется меньше органического вещества и активнее протекают процессы его минерализации.

Определение гранулометрического состава производилось на основных элементах рельефа котловины выдувания, где присутствуют растительные сообщества.

По данным гранулометрического анализа (рис.40, таблицы 26 в разделе 5.2) образцов почвогрунта исследуемых зон следует, что грунты состоят из фракций мелкого песка (на вершинах дюн – 62%, на подветренных склонах – 45%) и среднего песка (на вершинах дюн – 14%, на подветренных склонах – 43%) с включением крупнопылеватого песка (на вершинах дюн от 6-11%%, на подветренных склонах – 2%).



Рис.40 – Гранулометрический состав песков модельной котловины выдувания

В зоне котловин между дюнами меняется состав на более пылеватые частицы (25%) и крупнопылеватый песок (20%) и мелкий песок (10%) с включением глинистых частиц (12%) Из-за интенсивного выдувания в этой зоне преобладают суглинистые частицы.

Итак, на модельном раздуве выдувания преобладают песчаные толщи, состоящие в основном из фракции мелкого песка. При выдувании и обнажении

коренных пород преобладает фракция пылеватых частиц с включением физической глины.

Такой гранулометрический состав особенно подвержен действию ветровой эрозии, вследствие чего в пределах котловины выдувания создается свой мезорельеф и в целом на поверхности определяются не одинаковые условия для формирования растительного покрова. Это отражается прежде всего в преобладании доминирующих видов растений основных элементов мезорельефа, указанных в предыдущей главе. Так для элементов рельефа с преобладанием мелкой фракции песка соответствует доминирование дерновинных злаков, а для фракции пылеватых частиц с преобладанием физической глины доминирование споровых растений.

4.2 Климатические условия

Климатический фактор является главной причиной развития растительности на песчаных обнажениях.

Географическое положение территории определяет ее климатические особенности. Наиболее важными факторами формирования климата является западный перенос воздушных масс и влияние континента. Взаимодействие двух противоположных факторов придает циркуляции атмосферы над рассматриваемой территорией быструю смену циклонов и антициклонов, способствует частым изменениям погоды и сильным ветрам. Кроме того, на формирование климата существенное влияние оказывает огражденность с запада Уральскими горами, незащищенность территории с севера и юга. Над территорией осуществляется меридиональная циркуляция, вследствие которой периодически происходит смена холодных и теплых воздушных масс, что вызывает резкие переходы от тепла к холоду.

Климат данного района резко континентальный. Зима суровая, холодная, продолжительная. Лето короткое, теплое. Короткие переходные сезоны - осень и весна. Наблюдаются поздние весенние и ранние осенние заморозки, резкие

колебания температуры в течение года и даже суток. Безморозный период очень короткий.

Средняя продолжительность безморозного периода 81 день. Дата первого заморозка осенью 4 сентября, последнего – начало лета 14 июня.

В течение всего года наблюдается туман, а также другие метеоявления. Повторяемость их колеблется в больших пределах. В среднем за год наблюдается 15 дней с туманом, 12 – с грозой и 55 дней с метелью. Объем снегопереноса в районе составляет 300 м³/м.

Климатический анализ проводился по разновременным данным метеостанции Надым.

Реки и озера замерзают во второй половине октября, вскрываются – в начале июня. Весна прохладная с резкими колебаниями суточной и дневной температуры. Первая половина лета сухая, вторая – избыточно влажная. Осень холодная, по многолетним наблюдениям первый заморозок отмечается в начале сентября. В октябре температура опускается ниже 0°C.

Зимой преобладают массы холодного континентального воздуха умеренных широт, а в теплое время здесь формируется область пониженного давления, и сюда поступают влажные массы воздуха с Северной Атлантики. Циклоны на территорию обычно приходят с Атлантического океана и Средиземного моря. Зимой они сопровождаются снегопадами, метелями, буранами, а летом – пасмурной погодой и дождями.

Осадков в районе выпадает много, особенно в теплый период с апреля по октябрь 420-440 мм (примерно 60-70 % от суммы годовых осадков), за холодный период с ноября по март выпадает 150-170 мм, средняя годовая сумма осадков 580 мм. Избыточность увлажнения составляет в год 200-300 мм и формируется из осенне-весенних осадков. Годовая сумма выпадающих атмосферных осадков с 1995 г. увеличилась на 50 мм, преимущественно за счет увеличения вклада летних дождей. Количество осадков, выпадающих в виде снега, практически не меняется (рис.41) (Научно-прикладной..., 1998).

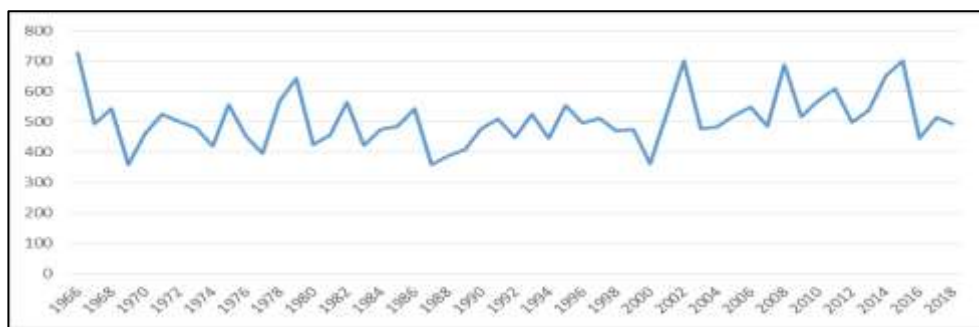


Рис. 41 – Годовые суммы осадков по метеостанции Надым (<https://rp5.ru/>)

Снежный покров образуется 12 октября и сохраняется в среднем 226 дней, дата схода 26 мая. Средняя мощность снежной толщи составляет 70-75 см. Разрушение снежного покрова более растянуто во времени – 05 июня для северной части и 16 мая для южной. Интенсивное нарастание снежного покрова происходит в начале зимы (ноябрь - декабрь). Максимальная высота снежного покрова на открытом участке достигает 108см (Климатическая..., 1982).

Так как выпадает много осадков, соответственно держится достаточно высокая влажность воздуха, средняя месячная относительная влажность изменяется от 71 % до 85 %. Относительная влажность в течение года менее изменчива. Наибольшая ее величина от 79 - 85% приходится на холодную часть года, наименьшая величина на весенние месяцы. Относительная влажность воздуха имеет мало выраженный суточный ход (Научно-прикладной..., 1998).

Среднегодовая температура воздуха минус 5,5°C, среднемесячная наиболее холодного месяца января минус 23,7°C, а самого жаркого июля плюс 15,7°C. Абсолютный минимум температуры составил минус 58 С, абсолютный максимум – плюс 35°C (Научно-прикладной..., 1998).

В годовом разрезе термический режим соответствует сезонному ходу погоды (радиации и циркуляции). Отрицательная температура воздуха устанавливается практически одновременно с появлением снежного покрова, составляя в октябре 0 - 3° и быстро понижаясь. Ноябрь и декабрь – типично зимние месяцы с низкой ($> -20^{\circ}$) температурой. В январе наступает минимум температуры, в феврале -незначительное повышение (таблица 10).

Таблица 10 – Среднемесячная и годовая температура воздуха, °С (Научно-прикладной..., 1998)

Месяц/ метеостанция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Надым	-23,7	-22,9	-14,4	-8,2	0	9,9	15,7	12,0	5,7	-4,2	-15,2	-20,9	-5,5

С 60 годов XX века на севере Западной Сибири отмечается повышение среднегодовой температуры воздуха, тренд которой за 1965-2017 годы по данным Надымской метеостанции составляет 0,04°С в год. Потепление климата в равной степени проявилось в повышении как зимних, так и летних температур (Научно-прикладной..., 1998, <https://rp5.ru/>).

Весной переход температуры воздуха через 0°С, начало снеготаяния и начало протаивания почв и грунтов с 1995 г. происходит на 15-20 дней раньше, чем в начале 60-ых годов. Среднемесячные майские температуры воздуха с 1962 г. по 1994 г. были отрицательными (-0,93°С) а за период с 1995 г. по 2012 г. стали положительными (+1,8°С) (Научно-прикладной..., 1998, <https://rp5.ru/>).

Время перехода температуры воздуха через 0°С осенью сместилось незначительно. Отрицательные температуры воздуха устанавливаются по-прежнему в октябре. Однако, за последние 18 лет (с 1995 г. по 2012 г.) 6 раз октябрьские температуры были положительными или близкими к 0°С (Научно-прикладной..., 1998, <https://rp5.ru/>).

Температура поверхности почвы отличается от температуры воздуха, в летние месяцы средняя температура выше на 1-3°С. В зимний период поверхность почвы имеет более низкую температуру, чем температура воздуха и отличается примерно на – 2-4°С (таблица 11).

Таблица 11 – Характеристика температурного режима поверхности почвы (Климатическая..., 1982)

T,°С	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
Средняя	-26	-26	-19	-10	-1	11	18	13	6	-6	-17	-24	-7
Абсол. max	0	0	7	18	34	47	50	50	31	16	5	0	50
Абсол. min	-58	-53	-55	-43	-30	-15	-4	-5	-11	-41	-50	-53	-58

Облачный покров, как один из главных регуляторов притока лучистой энергии, в значительной степени определяет количество поступающей к поверхности Земли солнечной радиации, является источником осадков и тем самым заметно влияет на формирование климатических условий.

По данным научно-прикладного справочника по климату СССР, в районе исследований на протяжении большей части года преобладают дни с облачной, пасмурной погодой, рассеянным освещением, количество которых за год в среднем составляет 187 дней и только 21 день в году ясный (Научно-прикладной..., 1998, <https://rp5.ru/>).

Суммарная радиация Q , приходящая к поверхности Земли, обусловлена как астрономическими причинами, так и атмосферными. Годовые суммы суммарной радиации при средних условиях облачности уменьшаются с юга на север, составляя 83-85 ккал/см² в южных частях региона и 67-70 на севере его. Суммы радиации за летний сезон уменьшаются от 45 до 30 ккал/см² с юга на север. Годовой максимум суммарной радиации наблюдается или в мае, или распределяется почти равномерно во времени (май-июнь-июль). Следовательно, значительная часть годовой суммы солнечной радиации приходится на время существования снежного покрова и не входит в летнюю сумму (Научно-прикладной..., 1998).

Ветровой режим территории формируется в соответствии с циркуляционными особенностями климата под влиянием сезонных процессов. Закрепление растительности на перевиваемых песках во многом зависит от скорости ветра.

Среднегодовая скорость ветра территории по данным многолетних наблюдений изменяется от 2,9 до 4,2 м/с (таблица 12). При этом наибольшие скорости характерны для летних месяцев. Для июня она составляет 4 м/с, для июля – 3,5 м/с (Научно-прикладной..., 1998).

Таблица 12 – Средняя месячная и годовая скорости ветра, м/с (Научно-прикладной..., 1998)

Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
V, м/сек	3,0	3,1	3,3	3,5	3,8	3,8	3,3	3,0	3,2	3,3	3,0	2,9	3,3
Высота флюгера – 10м.													

В соответствии с данными К.С. Кальянова (1985) и П.С. Захарова (1978) подобная скорость ветра достаточна для переноса частиц песчаных и супесчаных почв (таблица 13).

Таблица 13 – Пороговые скорости ветра (м/с) на высоте 15 см для почв различного гранулометрического состава

Почвы	По Кальянову К.С., 1985	По Захарову П.С., 1978
Песчаные	3	3
Супесчаные	3-4	до 4
Легкосуглинистые	4-5	5-6
Тяжелосуглинистые	5-7	5,5-7
Глинистые	7-9	7-9

Повышенные скорости ветра характерны для северных, а также для возвышенных участков, на которых наименьший показатель проективного покрытия растительности. Речные долины наиболее подвержены воздействию сильных ветров.

Согласно К.С. Кальянову (1985) ветровая нагрузка увеличивается на открытых пространствах, ориентированных по преобладающим направлениям. Чем большее расстояние проходит воздушный поток над незакрепленной растительностью песками, тем с большей интенсивностью проявляется дефляция. Поэтому крупные площади развеваемых песков имеют значительную устойчивость и потенциал к росту.

Огромное значение для возникновения и дальнейшего развития ветровой эрозии имеют максимальные ветровые характеристики. Максимальное число дней с сильным ветром (более 15 м/с) составляет для станции Надым 18 (1964, 1966 гг.). Наибольшую повторяемость в течение года, до 50-55 %, имеют скорости 2-5 м/с. Скорости 10 м/с и редко превышают 8-10%. Свыше 20 м/с скорость ветра

встречается не чаще 1 раза в год. Мгновенные усиления ветра значительно превышают значения скоростей, отмеченных в срок наблюдения. Особенно ощутима эта разница при ветрах скоростью 15 м/с и более (Климатическая..., 1982).

Поскольку перевевания песка происходит при скоростях ветра, более низких, чем 15 м/с, важным показателем может служить продолжительность дней с ветром со скоростью 8 м/с (таблица 14). Наибольшее число дней с сильным ветром наблюдается в апреле, мае и июне.

В режиме ветров выражена четкая сезонная изменчивость. В летний период доминируют ветры северных румбов, а в зимний – южных и юго-западных (рис. 42).

Таблица 14 – Среднее число дней с ветром скоростью 8 м/с и более
(Научно-прикладной..., 1998)

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Надым	4,5	3,7	5,7	6,3	6,6	5,9	4,7	3,3	3,9	4,7	4,1	4,1	58

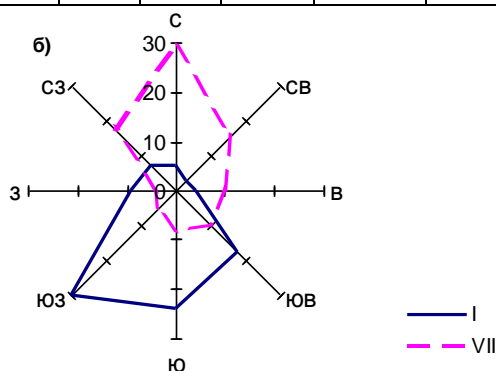


Рис. 42 – Розы ветров станции Надым (Научно-прикладной..., 1998)

Максимальными скоростями в 20-28 м/с характеризуются ветры северо-западного, юго-восточного, западного и юго-западного направлений (таблица 15).

Именно ветра северного и северо-западного направлений, преобладающие в летний период, благодаря своей устойчивости и достаточной силе, определяют эоловые процессы на территории, не давая растительности пройти первичную стадию сукцессии. Это подтверждается натурными наблюдениями котловины выдувания, рост которой отмечен в юго-восточном направлении. В этом же

направлении с северо-запада на юго-восток вытянуты все современные площади развеваемых песков в бассейне реки Надым в подзоне северной тайги.

Таблица 15 – Максимальная скорость ветра (без учета порывов) по направлениям за год, м/с (Научно-прикладной..., 1998)

Станция	С	ССВ	СВ	ВСВ	В	ВЮВ	ЮВ	ЮЮВ	Ю	ЮЮЗ	ЮЗ	ЗЮЗ	З	ЗСЗ	СЗ	ССЗ
Надым	18	14	16	17	14	14	20	17	17	24	20	12	20	14	28	24

В целом, можно сказать, что на изучаемой территории климатические условия способствуют развитию сильной дефляции почвы и затрудняют закрепление растительности. Но с другой стороны повышение температур воздуха и увеличение длительности периода с положительными температурами воздуха и количества летних атмосферных осадков повлекло за собой изменение растительности. С повышением количества атмосферных осадков связаны большие изменения в экосистемах, в понижениях рельефа прослеживается увеличение проективного покрытия растительности и уменьшение площади развеваемых песков.

Климатические условия за последние 5 лет были получены с ближайшего пункта наблюдения за метеоусловиями в аэропорту г. Надым (<https://rp5.ru/>).

Для выявления степени влияния ветровой нагрузки и влажности на формирование растительного покрова различных элементов мезорельефа раздува, нами были проведены сравнения среднемесячных значений влажности, температуры и скорости ветра за август месяц по данным метеостанции аэропорта г. Надыма (сайт) за период с 2013 по 2017 гг. (<https://rp5.ru/>). Также нами были выполнены микроклиматические измерения в пределах модельной котловины.

Сравнение климатических факторов и состояния растительного покрова были проведены на геоботанической площадке (глава 3.3, рис. 28). Корреляционный анализ зависимости степени проективного покрытия растительностью на геоботанической площадке за период наблюдений с 2013 по

2017 гг. и характеристиками климата показал, что главным отрицательным абиотическим (климатическим) фактором, определяющим состояние растительности, является скорость ветра (таблица 16).

Таблица 16 – Результаты геоботанических описаний пробной площадки, расположенной в южной части эолового массива

Определяемые показатели	Meam (min – max)	SD	Cv	Коэффициент корреляции
				ОПП
ОПП, %	16,8±1,68 (6 – 27)	8,4	50,05	-
Осадки, мм	2,52±0,24 (1,7 – 4,7)	0,02	0,41	-0,37
Скорость ветра, м/с	3,36±0,13 (0 - 16)	0,68	20,36	-0,87*
Температура, °C	-4,4±0,001 (-49,5 – +32,8)	15,63	-28,16	0,25

*значения статистически значимы при $P < 0,05$

Динамика растительности на изучаемой геоботанической площадке зависит от изменений климатических условий (суммы осадков, скорости ветра и температуры воздуха), что видно по картам растительности (приложение 2) и диаграмме на рисунке 43. Заращение геоботанической площадки зависит от скорости ветра и температуры воздуха.

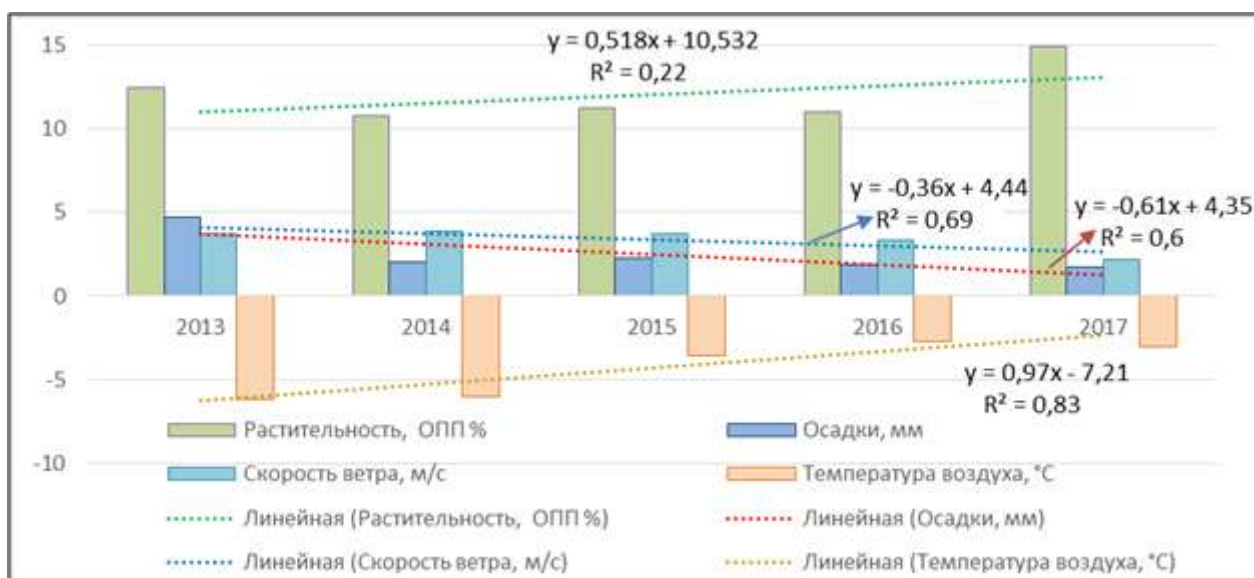


Рис. 43 – Динамика доли площади песка на геоботанической площадке и климатических показателей

На диаграмме видно, что происходит постепенное изменение климатических условий. Повышается температура воздуха, уменьшается скорость ветра и это способствует увеличению степени проективного покрытия растительностью на оголенных песках. Наблюдаемое уменьшение количества осадков не оказывает влияния на увеличение степени проективного покрытия, что может быть связано с характером увлажнения и формирование микроклимата модельной котловины выдувания.

Целью исследований микроклимата в 2018 году было установление особенностей климатических параметров на трех основных формах поверхностей – вершина дюны, наветренная сторона и подветренная сторона. Месторасположение площадок наблюдения описано в главе 2 настоящей работы. Позитивными факторами микроклиматических условий песчаного раздува является повышенная влажность воздуха и сниженная ветровая нагрузка на подветренных склонах дюн (рис. 44).

Относительная влажность в двухметровом слое воздуха положительно связана с температурой (коэффициент корреляции 0,65) и не зависит от скорости ветра (табл. 17). Влажность в приземном слое воздуха формируется за счет испарения влаги с поверхности при транспирации растений. Температура имеет отрицательную значимую связь со скоростью ветра в полутораметровом слое воздуха (коэффициенты корреляции -0,57 и -0,83).

Отсутствие эолового перемешивания песчаного субстрата позволяет укореняться растениям (в том числе и древесным) и сохранить оптимальные условия атмосферной влаги. Эти участки являются своеобразными «зародышами» будущих «анклавов» – локальных участков лесной растительности с примитивной почвой с морфологически идентифицируемыми почвенными генетическими горизонтами и живым растительным покровом.

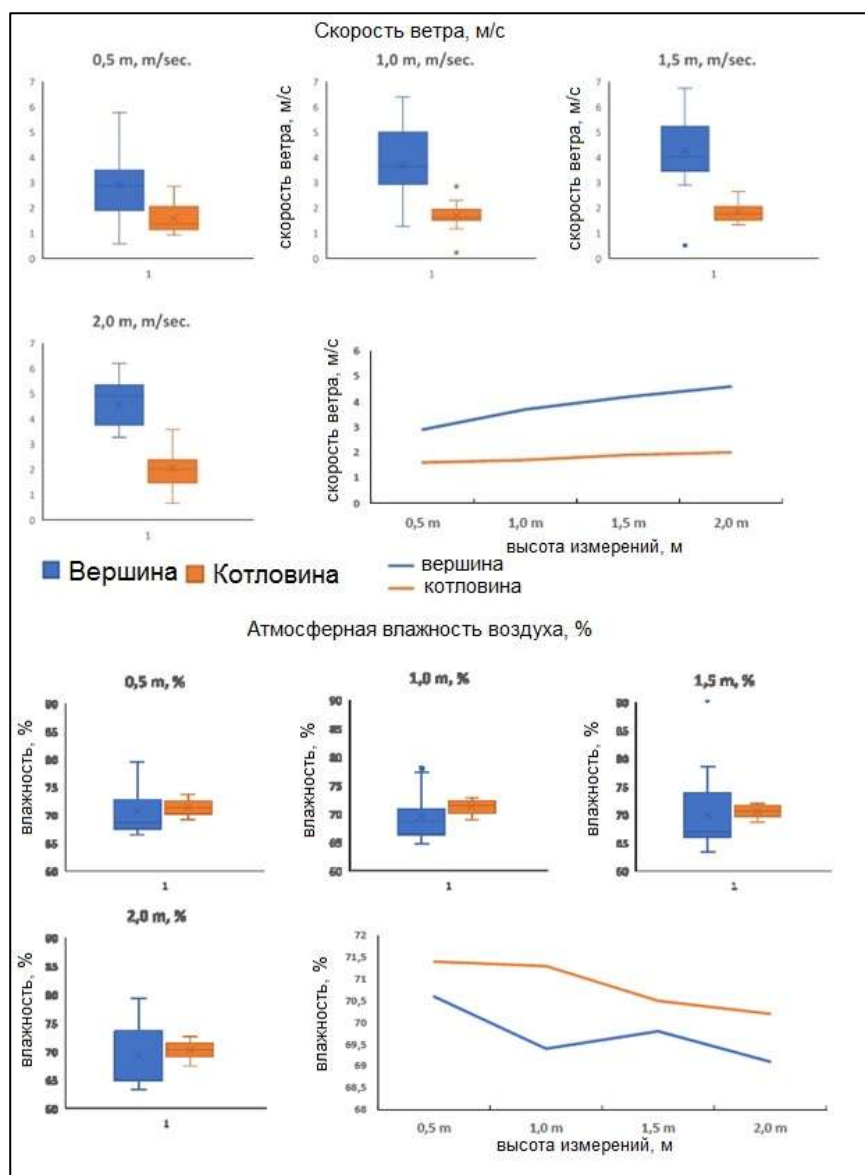


Рис. 44 – Изменение параметров микроклимата на основных элементах мезорельефа песчаного раздува.

Таким образом, климатические параметры по-разному воздействуют на процессы зарастания растительностью. В зависимости от действия ветра, сформированные элементы мезорельефа имеют свои особенности микроклиматических параметров. Так на наветренном склоне и вершине дюн определяющим климатическим фактором является скорость ветра. Для подветренного склона это влажность воздуха.

Таблица 17 – Матрица коэффициентов корреляции между значениями параметров микроклимата на площадке подветренного склона Метео песок 2

Параметры	Температура					Влажность				Скорость ветра			
	0 м	0,5 м	1 м	1,5 м	2,0 м	0,5 м	1,0 м	1,5 м	2,0 м	0,5 м	1,0 м	1,5 м	2,0 м
t 0м	1	-0,17	0,13	-0,05	-0,03	-0,02	0,02	0,03	0,38	0,29	-0,15	-0,33	-0,08
t 0,5м		1	0,4	0,55	0,49	0,09	-0,11	-0,27	-0,28	-0,83	-0,31	-0,57	-0,32
t 1м			1	0,63	0,19	0,48	0,32	-0,06	0,03	-0,41	-0,44	-0,39	-0,23
t 1,5м				1	0,21	0,65	0,31	0,22	0,02	-0,57	-0,15	-0,43	-0,09
t 2,0м					1	-0,01	0,06	-0,42	-0,12	-0,33	-0,04	-0,18	-0,83
Влаж. 0,5м						1	0,57	0,61	0,49	-0,31	0,01	0,03	0,04
Влаж. 1,0м							1	0,64	0,65	-0,06	-0,08	-0,07	-0,02
Влаж. 1,5м								1	0,67	-0,01	0,08	0,08	0,34
Влаж. 2,0м									1	0,07	-0,17	-0,02	0,09
Ветер 0,5м										1	0,26	0,22	0,24
Ветер 1,0м											1	0,53	-0,13
Ветер 1,5м												1	-0,08
Ветер 2,0м													1

Примечание: **P < 0,05**

Для котловины между дюнами складываются совсем иные условия. Под воздействием ветра здесь обнажаются древние коренные породы и экологические условия отличаются от песчаных массивов дюн.

4.3 Эдафические условия

По данным ряда ученых почва является важнейшим экологическим фактором, влияющим на жизнь растений в любой экосистеме (Добровольский и др, 1981; Ливеровская, 1980, 1984; Каретин, 1990).

Проблемами генезиса, морфологии и географии почв севера Западной Сибири в таежной зоне занимались Герасимов, 1939; Гаджиев, Овчинников, 1977; Ливеровская, 1980, 1984; Тонконогов, 1977, 1996; Василевская, Иванов, Богатырёв, 1986; Хренов, 2002, 2011; Смоленцев, 2002; Матышак, 2009; Москаленко, 2009; Гончарова и др., 2014; Тигеев, 2014; Бобрик, 2016; Шамилишвили, Абакумов, Печкин, 2016 и др.

Согласно схеме почвенного географического районирования, исследуемая территория располагается в Западносибирской почвенно-географической области, провинции таежных почв (Атлас Т.О., 1971).

По данным почвенно-географического районирования Добровольского, Урусевской (2004) этот район относится к Нижнеобской провинции фации холодных длительно промерзающих почв подзоны глееподзолистых почв и подзолов северной тайги Европейско-Западно-Сибирской таежно-лесной области бореального пояса.

В изучаемом районе в подзоне северной тайги можно выделить несколько типов почв, соответствующим основным экосистемам.

Основные типы почв района исследования отражены в таблице 18.

Таблица 18 – Типы растительности и почв автоморфных экосистем территории исследования (Атлас Т.О., 1971; Ильина, 1985; Атлас ЯНАО, 2004; Классификация и диагностика почв России, 2004; Москаленко, 2009; Матышак, 2009; Национальный атлас почв РФ, 2011)

Лесные сообщества	Типы почв	Положение в рельефе
Автоморфные лесные экосистемы		
Бугристо-западинный микрорельеф		
Лиственничные, березово-лиственничные, лиственнично - сосновые, березово-сосновые бруснично-багульниково-ерниково-зеленомошно-лишайниковые редколесья,	Аллювиальные дерновые Аллювиальные болотные Подзолы глеевые иллювиально железистые	Прирусловые центральные поймы, Приречные части, надпойменные террасы, Холмистые части равнин, Гривистые прирусловые поймы
Березово-кедровые, березово-елово-лиственничные травяные и травяно-бруснично-голубичные редкостойные и сомкнутые леса		
кедрово-березовые, елово-березово-лиственничные и елово-кедрово-березовые кустарниково-вейниково-моховые редколесья		
Кочковато-западинный микрорельеф		
Лиственничные морошко-багульниково-сфагновые редины	Торфяно подзолы-глеевые, Торфяно-глеевые Подзолы иллювиально-железистые Языковатые подзолы иллювиально-гумусовые Подзолы глеевые иллювиально железистые	Плоские заболоченные участки, Понижения между холмами, Плоские центральные и притеррасные участки пойм, Бугры и гряды пучения, сложенные песками в краевых частях озерно-аллювиальных равнин
Елово-лиственничные, березово-елово-лиственничные ивово-багульниково-ерниково-моховыми и лишайниково-моховые, также травяные редколесья и редины		
Березово (кедрово)-лиственнично - сосновые кустарничково-зеленомошные леса		
Заболоченные елово-лиственничные травяно-багульниково-сфагновые редколесья		
Кедровые осоково-багульниково-лишайниковые редколесья		

Участки с эоловыми формами рельефа расположены чаще всего в автоморфных условиях, граничащие с лесными массивами.

На участках котловин выдувания имеются начальные стадии почвообразования в местах где наблюдается первичная сукцессия зарастания растительностью. Заросшие эоловые формы являются сосново-лишайниковыми борами на иллювиально-железистых подзолах.

Экстремальные для растительности условия приводят к формированию здесь чистых редкостойных сосняков с надпочвенным покровом из неприхотливых лишайников, способных извлекать воду из воздуха.

Наряду с автоморфными экосистемами в данном районе большое распространение имеют гидроморфные ландшафты, связанные прежде всего с близким залеганием вечной мерзлоты.

Здесь встречаются 4 основных типа экосистем, отраженные в таблице 19 и на карте почв района исследований (рис. 45).

Характерной особенностью почв собственно болотных экосистем является слабое проявление криогенных процессов. Наличие вечной мерзлоты обнаруживается на буграх, в топяных болотах мерзлоты нет. Воздействие вечной мерзлоты придает особую мозаичность почвам гидроморфных экосистем северной тайги Западной Сибири.

Одним из важных условий для произрастания любой растительности является плодородие почвы.

Плодородие почвы – ее основное свойство, которое создает условия для жизни растений. Благодаря ему растения, получают минеральное питание и, используя солнечную энергию, синтезируют органические вещества. Плодородие почвы зависит от содержания гумуса. Накопление гумуса во многом зависит от продуктивности растительности, ежегодного опада и массы отмирающих корней.

Таблица 19 – Типы растительности и почв гидроморфных экосистем района исследований (Атлас Т.О., 1971; Ильина, 1985; Атлас ЯНАО, 2004; Классификация и диагностика почв России, 2004; Москаленко, 2009; Матышак, 2009; Национальный атлас почв РФ, 2011).

Лесные сообщества	Типы почв	Положение в рельефе
Гидроморфные экосистемы		
Болотные экосистемы		
Топяные осоково-пушицево-гипновые и вахтово-осоково-гипновые, пушицево-осоково-сфагновые болота	Торфяно-болотные Торфяные олиготрофные Торфяно-глееземы	Центральные и периферийные части ложбин стока и заросших озер равнин и пойм Термокарстовые депрессии мочажины
Грядово-мочажинные болота		
Комплекс кустарничково-осоково и кустарничково-пушицево-осоково-сфагновых сообществ гряд	Торфяно-болотные	Ложбины и полосы стока озерно-аллювиальных равнин
Пушицево-осоково и вахтово-осоково-моховые сообщества мочажин		
Плоскобугристые болота		
Кустарничково-сфагново-лишайниковые и морошково-багульниково-кладониево-сфагновые, морошково-багульниково-сфагново-кладониевые сообщества плоских торфяных бугров	Торфяные олиготрофные Торфяно-глееземы Глеезем криотурбированный	Плоские поймы рек Плоские поверхности озерно-аллювиальных равнин
Пушицево-осоково-сфагновые и ерниково-сфагновые сообщества в канавах и трещинах, полосы стока и крупные мочажины		
Мелкобугристые болота		
Осоково-ерниково-багульниковые и мохово-лишайниковые сообщества бугорков	Торфяные олиготрофные Торфяно-глееземы	Краевые части болотных массивов
Пушицево-осоково-сфагновые сообщества мочажин		
Выпуклобугристые болота		
Морошково-бруснично-багульниковые и мохово-лишайниковые сообщества бугров	Торфяные олиготрофные Торфяно-глееземы	Плоские поймы рек и ложбины стока морских равнин
Пушицево-осоково-сфагновые сообщества мочажин и канав		
Крупнобугристые торфяники		
Морошково-багульниково-мохово-лишайниковые сообщества вершин и верхних частей склонов бугров Ерниково-моховые сообщества склонов бугров	Торфяные олиготрофные Торфяно-глееземы Торфяно-криозем Торфяно-подзол	Плоские поверхности морских и озерно-аллювиальных равнин Плоские поймы
Пушицево-осоково-сфагновые сообщества ложбин и мочажин		



Условные обозначения

■ Водные объекты	■ Оголенные пески	■ Антропогенно нарушенные земли
Почвенные комплексы		
■ Тв Торфяные олиготрофные, торфяно-глееземы, торфяно-подзолы, глеезем криотурбированный	■ По Подзолы иллювиально-железистые языковатые, подзолы иллювиально-гумусовые	
■ Тп Торфяно-болотные, торфяно-криоземы	■ Пго Подзолы глеевые иллювиально-железистые, торфяно-подзолы глеевые	
■ А Аллювиальные дерновые, аллювиальные болотные, подзолы глеевые иллювиально-железистые		

Рис. 45 – Типы почв района исследований (составлено автором по данным Атлас Т.О., 1971; Ильина, 1985; Атлас ЯНАО, 2004; Классификация и диагностика почв России, 2004; Москаленко, 2009; Матышак, 2009; Национальный атлас почв РФ, 2011)

Водный режим почвы – это показатель содержания почвенной влаги и растворенных в ней минеральных веществ, необходимых для жизни растений.

Тепловой режим почвы определяет физиологические и анатомо-морфологические адаптации растений, их корневых систем, а также влияет на структуру растительного покрова в целом.

Гранулометрический состав во многом обуславливает физические свойства почвы, от него зависит плотность и возможность проникновения в нее корней. От гранулометрического состава почвы зависит порозность и как следствие этому водо- и воздухопроницаемость, водоподъёмность, гигроскопичность, поглощательная способность и др. Также влияет гранулометрический состав на тепловой и водный режим почв. Например, песчаные почвы являются «легкими и сухими». У песчаных почв (наиболее распространенных в районе исследования) тепловой режим своеобразен: сильное нагревание поверхности и приземного слоя воздуха и резкие суточные колебания температуры.

Нами были исследованные почво-грунты выделенных растительных фитоценозов вершин дюн, подветренных склонов и котловин между дюнами. Также исследовались молодые примитивных почвы «анклавов» и подзолы иллювиально-железистые в климаксовом сообществе.

Почвы климаксового сообщества представлены подзолами иллювиально железистыми. Почвы анклавов представлены примитивными слоистыми почвами. Почво-грунты вершин дюн, подветренных склонов представлены мощными песчаными толщами (до 2 м) без признаков почвообразования. Почво-грунты котловин между дюнами представлены древними криогенно-полигональными структурами.

Разрез 1. Подзол иллювиально-железистый языковатый соответствующий сосново-лишайниковому редколесью (рис.46)

A0 (0-5 см) – слаборазложившийся хвойный опад, черный, сверху – живой лишайниковый покров.

E (5-20 см) – эллювиальный горизонт, клинья до 18 см, песок мелкозернистый, пепельный. Переход резкий, языковатый.

Bf (20-60 см) – иллювиальный горизонт, песок ожелезненный, плотный, сухой, светло-коричневый, со следами органики, неслоистый, переход от подзолистого горизонта явный, неровный, включения корней, криотурбированный, в нижней части глинистые включения, проникновение криотурбации до 100 см и более, разбит трещинами, трещины заполнены

подзолистым материалом. Глубина трещин до 45 см, органические включения диаметром до 5 см.



Рис. 46 – разрез 1 – подзол иллювиально-железистый языковатый (фото Сизова О.С., 2016 г.)

CD (60-205 см) – материнская порода, песок мелкозернистый, рыхлый, слегка влажный, белесый, неслоистый и неявно слоистый, со следами ожелезнения, с мелкими следами органики, переход от железистого горизонта явный, неровный, криотурбированный. Проникновение суглинистого материала в виде клиньев и округлых отдельностей. Длина клиньев до 100 см и более, диаметр отдельностей 40 см и более. Единично встречается мелкая, окатанная галька.

BCd (60-205 см) – псевдоморфозы в виде клиньев и округлых отдельностей. Заполнитель - плотный суглинок сизого цвета, целостный слой нарушен. Границы явные, ожелезненные. В пределах крупных клиньев полости до 20 см заполнены материалом железистого горизонта. Органики нет, слоистость отсутствует, нижняя граница 190 см от поверхности. Каплевидные отдельности под суглинистым клином могут свидетельствовать о неоднократном проникновении материала в песчаную породу.

Разрез 3. Примитивная слоистая почва «анклава» на песчаном раздуде (рис.47).



Рис. 47 – Разрез 3. Прimitивная слоистая почва (фото Якимова А.С, 2017 г.)

Это молодая почва (возраст 25-30 лет), развивающаяся по подзолисто-иллювиально-железистому подтипу. Имеет глубину 50 см. Наиболее выраженным и быстро формирующимся горизонтом молодой почвы является лесная подстилка, поскольку формируется под непосредственным влиянием растительного покрова. Преобладающий цвет – светло-желто-коричневый. В данном случае горизонт можно охарактеризовать как слабоуплотненный, сохраняющий рыхлое сложение. Включения корней деревьев и травы. Границы ровные, заметные по цвету.

A1/A2 0-2(3) 2,5Y 6/3 светло-желто-коричневый. Супесь мелко комковатая. Структура: уплотненный, увлажненный. Новообразования отсутствуют. Включения корней деревьев и растений, нижняя часть лишайников, мхов. Нижняя граница ровная, переход заметный по цвету.

BC 2(3) – 6(10) 2,5Y 6/4 светло-желто-коричневый. Супесь неясно мелко комковатой структуры. Уплотненный, увлажненный. Включения корней деревьев и травы. Нижняя граница ровная, переход ясный по цвету.

Cd 6(10) – 15 2,5 6/4 – светло-желто-коричневый. Мелкий бесструктурный песок, свежий, уплотненный. Включения корней деревьев. Нижняя граница слабоволнистая, переход заметный по цвету и ясный по слоистости.

D1 15-26(32) 2,5Y 6/3 светло-желто-коричневый; 2,5Y 6/6 оливково-желтоватый. Бесструктурный песок, уплотненный, свежий. Включения корней

деревьев, новообразования Fe_2O_3 в виде затеков. Нижняя граница волнистая, заметная по цвету.

D2 26(32)-50; 2,5YR 7/3 бледно-желтый; 10YR 5/6 желтовато-коричневый. Есть слоистость. Свежий, уплотненный. Новообразования Fe_2O_3 в виде зерен. Включения галька $d=1-2\text{ см}$, корней деревьев.

D1,D2 – аллювиальное происхождение.

Молодая почва, развивающаяся по подзолисто-иллювиально-железистому подтипу.

Разрез 4. Почво-грунты подветренного склона (рис.48). Песчаные грунты не имеют признаков почвообразования и представляют собой мощные толщи однородного песка с включением редких корней на глубине 20-30 см и в редких случаях до глубины 1,5 м.



Рис. 48 – Почво-грунты подветренного склона дюны (фото Якимова А.С, 2017 г.)

Разрез 5. Почво-грунты вершины дюны. Песчаные грунты не имеют признаков почвообразования и представляют собой пачку эоловых отложений с редким включение корней до глубины 20-30 см и в редких случаях до 1,5 м.

Разрез 6. Криогенно-полигональные структуры. На рисунке 49 представлен поперечный разрез древнего валика криогенно-полигональной структуры, расположенной между дюнами в котловине выдувания. Клин идёт с поверхности валика слегка выпуклый, до 10 см над современной поверхностью. Уходит клин на глубину 60 см. Края клина ожелезненные, оконтуриваемые слоем желтого

цвета. Заполнение клина светло-желтовато-коричневое средне суглинистое. Комковатой структуры. Наблюдаются уплотненные желто-коричневые пятна-точки Fe_2O_3 .



Рис. 49 – Почвенный разрез четвертой зоны (котловина между дюнами, фото Якимова А.С., 2017 г.)

В правой части над слоем ожелезненного песка идет слой органогенный, имеющий черноватый оттенок. На глубине 8-18 см имеется пятно аналогичного материала.

Клин проходит через серию отложений флювиогляциального генезиса. От 0 до 57 см находятся отложения полугидроморфной стадии (в этих условиях образовался клин). От 57 см и глубже аллювиальный слой песчаных отложений. Они подстилают эту толщу полугидроморфной серии.

В ходе сукцессии почвы претерпевают изменения и изменяются по направлению типа почв подзола иллювиально-железистого.

Гидротермические свойства почв

Все физиологические процессы, которыми живет растительный организм, могут совершаться лишь в пределах определенных температур, ниже которых и выше которых нормальное течение этих процессов прекращается.

Температура почво-грунтов песчаного раздува до глубины 60 см различается по зонам (рис. 50, приложение 6). Так на наветренных склонах

температура поверхности ниже чем температура в первых 10 см, что не наблюдается в остальных зонах.

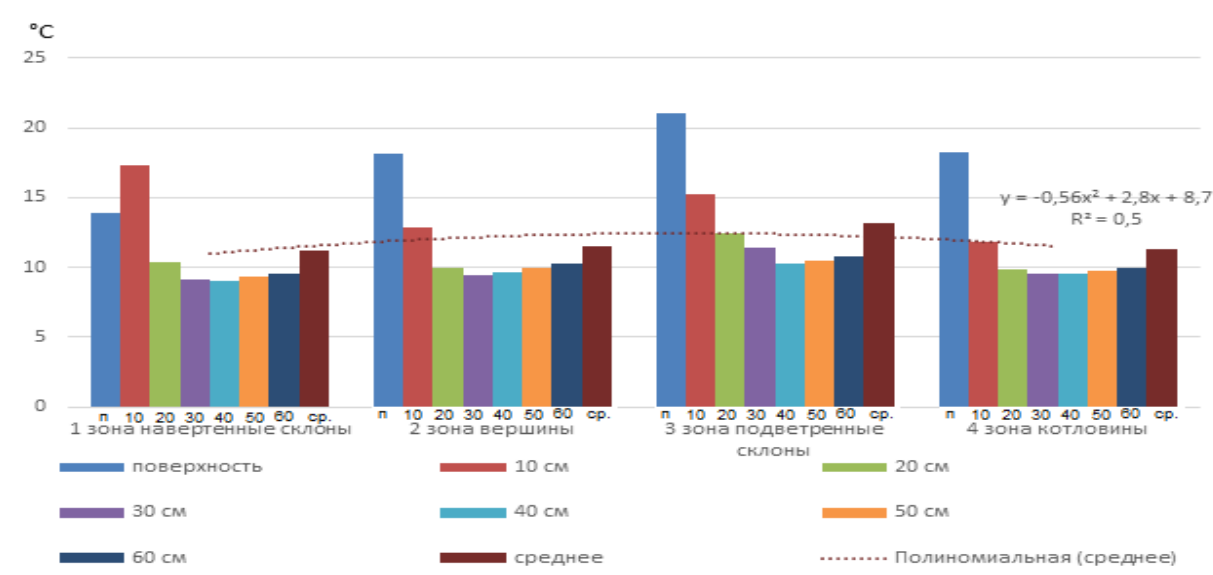


Рис. 50 – График изменения температуры почв по зонам (составлено автором)

Это объясняется охлаждающим действием ветра, который наиболее сильно действует на зоны наветренных склонов. В остальных трех зонах температура на поверхности значительно выше температур более глубоких слоев. Наиболее прогретой является почва на подветренных склонах. Температуры вершины дюны и подветренного склона имеют примерно одинаковые значения. В котловинах между дюнами, вершинах дюн и подветренных склонах имеется травянистая растительность разной степени проективного покрытия. На этих элементах рельефа с растительностью температура почвы до глубины 60 см немного повышается, по сравнению с почвами наветренного склона.

При корреляционном анализе зависимости степени проективного покрытия от температуры поверхности почвы установлена положительная сильная взаимосвязь (табл. 20). Коэффициент корреляции равен 0,84.

Водный режим образующихся почв определяется механическим составом минеральной части почв, характером поступления атмосферных осадков в течение теплого периода года и растительным покровом. На модельной котловине выдувания почвы имеют легкий механический состав и характеризуются хорошим промывным водным режимом, который может

обеспечиваться атмосферным увлажнением, ведущим к сквозному промачиванию. Режим увлажнения северных почв оказывает большое влияние на продуктивность биогеоценозов, при этом на влажность почв влияют осадки, термический режим и растительность (Дьяконов, Ретеюм, 1969).

Таблица 20 – Корреляционный анализ зависимости ОПП от температуры почвы

Участок	Среднее проективное покрытие	Температура поверхности, °С	Оценка ху	x^2	y^2
Котловины	7,40	11,8	87,32	54,76	139,24
Вершины	17,30	12,9	223,17	299,29	166,41
Подветренные склоны	19,50	15,3	298,35	380,25	234,09
	$\Sigma x=44,20$	$\Sigma y=40$	$\Sigma xy=608,84$	$\Sigma x^2=734,30$	$\Sigma y^2=539,74$
$r=(3*608,84-44,20*40)/(\text{КОРЕНЬ}((3*734,3-44,2^2)*(3*539,74-40^2)))=0,84$					

На модельной котловине так же, как и в песчаных карьерах с травяным зарастанием в нижних частях склонов и между дюнами складываются гидроморфные условия почвообразования, а в верхних частях автоморфные. Поэтому на исследуемом песчаном раздуде почвообразование идет в двух направлениях.

Визуально, в местах перегиба наветренного склона и междюнного понижения в котловине выдувания с древними криогенными полигонами, отмечается более темный оттенок песка, обусловленный более высокой влажностью. По всей видимости, в этих местах формируются своеобразные «тепличные» с наиболее благоприятными микроклиматическими условиями – в первую очередь, отсутствие эолового перемешивания песчаного субстрата, что позволяет укореняться растениям (в том числе и древесным), и оптимальные условия сохранения атмосферной влаги. Эти участки являются своеобразными «зародышами» будущих «анклавов» – локальных участков лесной растительности с примитивной почвой с морфологически идентифицируемыми почвенными генетическими горизонтами и живым растительным покровом. Анклавы формируются при изменении направления движения дюн, позволяя развиваться

растительному покрову, в противном случае, дюна, в своем движении, постепенно засыпает растительность подветренных зон.

Распределение влаги по профилю почвы неравномерно и возможно это связано с литологической неоднородностью (рис. 51, приложение 7).

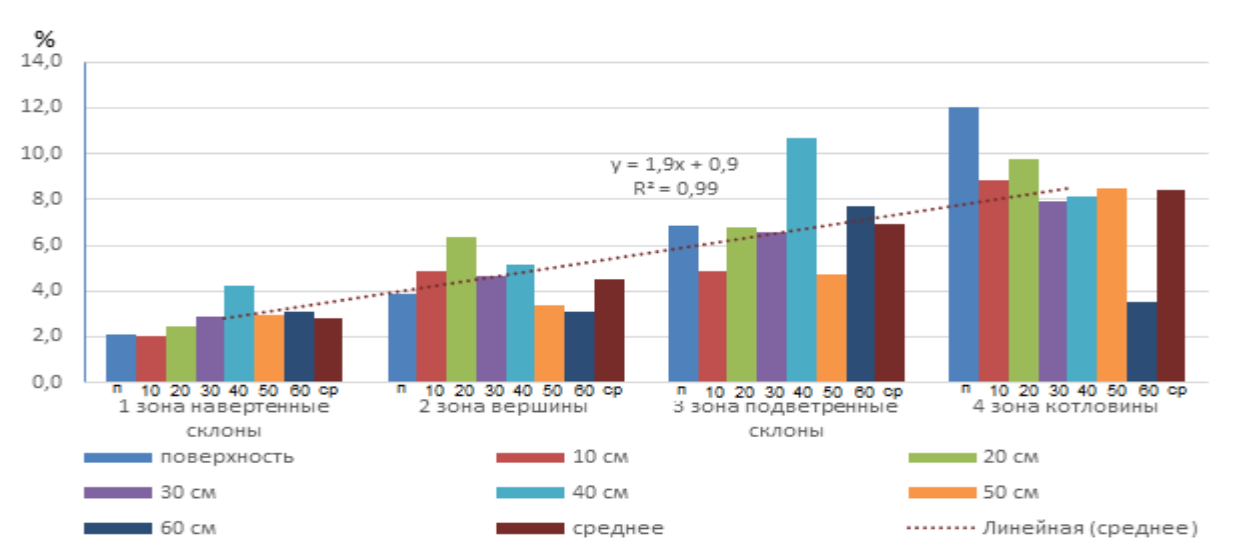


Рис. 51 – График изменения влажности почв по элементам мезорельефа (составлено автором)

Как было рассмотрено ранее, в котловинах между дюнами также меняется гранулометрический состав в сторону преобладания более мелких частиц, поэтому наибольшие значения влажности отмечены именно там. Но степень проективного покрытия растительности в этой зоне мала, так как для такой влажности характерны растения гигрофиты, видовое разнообразие которых на поверхности дюны очень низко. Также постоянное перемещение, песчаных масс засыпает появившиеся всходы растений. Наиболее обильны в котловинах споровые, но и для них характерна сильная степень угнетения. Для закрепления споровых растений нужен более длительный отрезок времени без воздействия сильного ветра, чего не происходит на песчаном раздуве.

Минимальные значения влажности свойственны наветренным склонам. На вершине дюн количество влаги уже больше чем на наветренных склонах, но меньше чем в подветренных и в котловине. При корреляционном анализе

зависимости степени проективного покрытия от влажности поверхности почвы установлена отрицательная сильная взаимосвязь (таблица 21). Коэффициент корреляции равен -0,98.

Таблица 21 – Коэффициент корреляции зависимости влажности от средних значений проективного покрытия растительностью

Участок	Среднее проективное покрытие	Влажность поверхности, %	Оценка ху	x^2	y^2
Котловины	7,40	8,8	65,12	54,76	77,44
Вершины	17,30	4,8	83,04	299,29	23,04
Подветренные склоны	19,50	4,8	93,6	380,25	23,04
	$\Sigma x=44,2$	$\Sigma y=18,4$	$\Sigma xy=241,76$	$\Sigma x^2=734,3$	$\Sigma y^2=123,52$
$r=(3*241,76-44,20*18,4)/(\text{КОРЕНЬ}((3*734,3-44,2^2)*(3*123,5-18,4^2)))= - 0,98$					

Степени увлажнения способствует в первую очередь количество осадков. Как было рассмотрено ранее в летний период выпадает большое количество осадков, в среднем 420-440 мм, за холодный период с ноября по март выпадает немного меньше около 150-170 мм. На обеспечение достаточной влагоемкости почв влияет распределение и залегание снежного покрова.

В результате проведения снегомерной съемки с 5 по 8 апреля 2017 года установлено, что снежный покров залегает неравномерно. Средние значения глубины снега изменяются от 10 до 47 см. Отмечается четкая зависимость глубины от типа местоположения – для вершин дюн глубина составляет от 3 до 20 см в среднем $19,4 \pm 1,11$ см., в понижениях подветренных склонов – превышает 70 см (максимальное значение 200 см). На наветренных склонах и котловинах средняя высота снежного покрова практически одинаковая и составляет около $43,0 \pm 1,18$ см.

Поскольку глубина снега небольшая и ветер не позволяет накапливаться снежным массам наименьшее содержание запасов воды зафиксировано на вершинах дюн (44-78 куб.см). Максимальные значения влагоемкости зафиксированы в низинах и на подветренных склонах (692 куб.см, 638 куб.см и 274 куб.см).

При корреляционном анализе установлено, что общее проективное покрытие растительностью различных зон имеет очень слабую связь с высотой снежного покрова ($r=0,19$). Это указывает на косвенное влияние данного фактора через режим увлажнения почв. Связь количества наземной фитомассы и влажности почв сильна ($r=-1,0$) и статистически значима при уровне достоверности $P < 0,05$.

Таким образом общее проективное покрытие и количество надземной фитомассы зависит прежде всего от влажности почв модельного раздв.

Установлено, что данные почвы исследуемого песчаного раздува обладают достаточной влагообеспеченностью для произрастания выявленных видов растительности. Так для доминирующих видов трав Вейника Лангсдорфа и Овсяницы Овечьей по шкале Цыганова достаточный уровень влажности почвы соответствует от 3-19 баллов, что характерно для растений, произрастающих в разных климатических зонах от остепенённых лугов до увлажнённых берегов рек или озёр.

Глава 5 РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ПЕСЧАНЫХ ПУСТОШЕЙ РАЗЛИЧНОГО ГЕНЕЗИСА В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

5.1 Рекультивация модельного песчаного раздува

Общий интерес многих исследователей к оголенным пескам севера Западной Сибири очень высок. И связано это в первую очередь с активным освоением и разработкой нефтегазоконденсатных месторождений, и образованием в результате больших площадей активно перевиваемых песчаных раздувов. В литературе имеется достаточно много исследований почв, растительности на оголенных песках северной тайги Западной Сибири. Восстановление растительности в пределах северной тайги Западной Сибири изучалось не многими исследователями в пределах рекультивированных и самозарастающих песчаных выработок (Коронатова, 2004), а также насыпей вдоль дорог и технических площадках (Капитонова, 2015).

Интересным было выяснить особенности восстановления при рекультивационных работах естественных древних эоловых форм при наличии антропогенных нарушений.

Для понимания процессов восстановления растительного покрова на оголенных песках в 2016 году на модельной котловине выдувания были заложены опытные площадки с применением различных методов рекультивации, описанных во 2 главе настоящей работы.

Основные характеристики, полученные в ходе полевых исследований отражены в таблице 22.

Сравнивая результаты наблюдения за динамикой растительного покрова на участках с естественным зарастанием и участками рекультивации можно сказать, что:

– Укладка биомата и внесение торфо-песчаной смеси эффективно способствует увеличению качественного и количественного состава растительного покрова не зависимо от положения в рельефе, что подтверждается

также и другими исследователями (Богомолов, 1993; Коронатова, 2004; Игловилов, 2012).

Таблица 22 – Результаты геоботанических описаний площадок рекультивации

№	Способ рекультивации	Положение в рельефе	Доминирующие виды, участвующие в зарастании	Кол. вид.		Общее проективное покрытие растительностью, %	
				2017	2018	2017	2018
1а	Биомат	Подветренный склон, центральная часть	Кострец безостый; тимopheевка луговая; райграс многолетний	5	4	20	27
1б	Торф +песок		Кострец безостый; райграс многолетний; пижма дваждыперистая; щавель злаколистный	3	4	14	18
2а	Биомат	Понижение между дюнами, центральная часть	Пижма дваждыперистая; щавель злаколистный; райграс многолетний; овсяница овечья; ястребинка; золотарник обыкновенный; Кострец безостый	7	7	30	40
2б	Торф+песок		Райграс многолетний; овсяница овечья; ястребинка; тимopheевка луговая; пижма дваждыперистая; Кострец безостый	7	7	35	37
2в	Демутация		Кострец безостый; вейник Лангсдорфа, пижма дваждыперистая, щавель злаколистный, ястребинка; тимopheевка луговая	7	7	15	25
3а	Биомат	Наветренный склон, центральная часть	Кострец безостый; райграс многолетний; тимopheевка луговая	3	3	15	28
3б	Торф +песок		Райграс многолетний; Кострец безостый	2	2	10	25
3в	Демутация		Райграс многолетний; Кострец безостый	2	2	5	5
4а	Биомат	Ровная поверхность, восток	Райграс многолетний; Кострец безостый	3	3	7	18
4б	Торф +песок		Райграс многолетний; Кострец безостый	2	3	10	25
5а	Биомат	Вершина дюны, юго-восток	Райграс многолетний; Кострец безостый	2	2	18	12
5б	Торф +песок		Райграс многолетний; Кострец безостый	4	3	20	25
5в	Демутация		Кострец безостый	1	1	7	1
6	Демутация	Наветренная часть, север	Кострец безостый	1	1	1	1

Как видно из наблюдений, что и на склоне с активным развитием происходит увеличение процесса зарастания, так и в котловине между дюнами происходит увеличение биоразнообразия местных видов флоры, т.е. виды не характерные для растительных фитоценозов междюнных понижений активно селятся и растут на улучшенных участках песка (рис.52).



Рис.52 – Расселение видов не характерных для междюнного понижения на рекультивированных площадках (фото Сизов О.С., 2017 г.)

Таковыми видами являются пижма дваждыперистая, ястребинка и золотарник. На модельном раздуге характерное их местообитание – это середина подветренных склонов;

– Использование биомата и торфо-песчаной смеси улучшает физико-химические свойства песка и является препятствие для перемещения песчаных масс, тем самым создает благоприятные условия для зарастания. Данный вывод подтверждается положительной динамикой в зарастании пробных площадок, расположенных на оголенных участках, изначально лишенных каких-либо признаков зарастания (рис. 53);



Рис.53 – Пробные площадки рекультивации на второй год зарастания на открытом месте с почти полным отсутствием представителей местной флоры (фото Сизов О.С., 2017 г.)

– Демутационный способ рекультивации оголенных песков показал наименьшую эффективность. Это является следствием низкой плодородности и бедности основными микроэлемента песчаных масс. Даже при внесении необходимого количества удобрений данный метод не будет считаться эффективным, так как не создает препятствия для задержания песка.

Примечательно также то, что в зарастании рекультивированных участков участвуют не только растения из внесенной травосмеси, но и представители местной флоры, что создает положительную тенденцию к полному восстановлению растительного сообщества близкого к коренному сообществу.

В местах активного переноса песчаных масс основным фактором, противодействующим зарастанию данных сообществ, является активный перенос песка. Для рекультивации таких сообществ в некоторых странах имеется опыт использования ограждений из мелкоячеистых сеток. Данный метод был проверен и на модельном раздуде. В 2013 году была установлена сетка перпендикулярно направлению доминирующих ветров на наветренном склоне дюны без внесения дополнительных средств. Наблюдение данного участка в течение 5 лет показало, что на полностью лишенном растительности наветренном склоне дюны проективное покрытие выросло до 15-18 % (рис.54).



Рис. 54 – Использование ограждения для рекультивации оголенных песков (фото Сизов О.С., 2015, 2019 гг.)

Это подтверждает вывод о том, что основным фактором, который препятствует зарастанию, является механический перенос ветром приповерхностных слоев песка. При этом существует значительный потенциал к естественному возобновлению растительности.

В качестве ограждений некоторые методы рекультивации предлагают использовать древесные посадки. Данный метод был реализован на модельном раздуге в 2017 г. на двух площадках в центральной и южной частях в виде посадки молодого ивняка. Для этого на каждой площадке в параллельные канавы длиной 3,5 м и глубиной 50 см были закопаны скрученные побеги ивы прутовидной, собранные из местной флоры (рис. 55).



Рис. 55 – Площадка рекультивации оголенных песков с использованием побегов ивы прутовидной (фото Сизов О.С., 2017, 2018 гг.)

По результатам 2018 г. входов ивы обнаружено не было. Данный метод показал неудовлетворительные результаты и не может применяться для рекультивации оголенных песков.

По результатам проведенного эксперимента при проведении рекультивационных работ площадках, расположенных в понижениях между дюнами на песчаном раздуге по условиям восстановления растительности, соответствуют фитоценозы в анклавах. Для достижения конечных стадий

сукцессии на вершинах дюны возможно применение ограждений из мелкоячеистых сеток.

Таким образом, основой улучшенной технологии рекультивации оголенных песков в северотаежных условиях Западной Сибири является уменьшение скорости ветра в приземном слое, что улучшает тепловой режим почвы, позволяет снизить потери воды и предотвращает механическое повреждение корневой системы растений. Это достигается использованием биоматов или торфо-песчаной смеси, специальных ограждений. Посев многолетних трав в биоматы и торфо-песчаную смесь интенсифицирует естественный почвообразовательный процесс и позволяет добиться положительного эффекта уже через 1-2 года.

5.2 Рекультивация песчаных карьеров

Для сравнения с описанными выше технологиями рекультивации оголенных песков нами проведено обследование в 2017 год сухоройных карьеров, частично рекультивированных методом создания лесных культур и частично самозарастающих. Расположение и проведенные на них исследования рассмотрены во 2 главе настоящей работы. Геоботаническое описание исследованных карьеров в приложении 7. Все исследованные карьеры расположены около автодороги «Надым-Ягельное» в нескольких километрах от КС «Надымская». Обследование древесных насаждений на песчаных карьерах показало, что возраст карьеров составляет 10-20 лет (табл. 23). Рекультивационные работы по данным Надымского лесничества были проведены в 2012 году.

По форме рельефа карьеры котловиннообразные или западинообразные. Преобладающими элементами рельефа являются откосы и днища. Часть карьеров спланирована и выположена, угол наклона бортов карьеров не превышает 18° . На дне отдельных карьеров наблюдается скопление грунтовых вод в виде луж и озер. Поверхность карьеров зарастает травянистой и древесной растительностью.

Таблица 23 – Возраст деревьев рекультивированных и самозаростающих карьеров

№ карьера	Порода дерева	Возраст дерева						Обилие, по Друде	
		Заросший участок с благоприятными условиями среды (З), высота (м)			Оголенный участок с угнетенными условиями среды (О), высота (м)			З	О
		более 1,5	0,5-1,5	до 0,5	более 1,5	0,5-1,5	до 0,5		
1	Сосна обыкн.	19	15	12	14	10	6	sol	r
2	Сосна обыкн.	11	10	3	16	15	9	sp	r
3	Сосна обыкн.	-	7	6	5	5	4	sol	r
	Ива	13	-	-	-	-	-	r	-
4	Ива	-	-	3	-	-	-	r	-
5	Сосна обыкн.	16	16	21	17	17	10	sp	sol
6	Сосна обыкн.	19	14	10	20	17	10	sp	r
	Ольховник кустарниковый	12	8	3	-	-	-	r	-
7	Сосна обыкн.	18	20	2	23	23	15	sol	r

З – зарастающие участки, О – оголенные участки

Обилие по Друде: Sp – растения встречаются редко, покрытие больше 10%; Sol – растения встречаются редко, покрытие меньше 10%; r – очень редкие растения, менее 10 экземпляров на площадке.

Обнажившиеся породы, на которых происходит поселение растительности и развивается почва, представлены четвертичными песками и супесями.

На техническом этапе выполнялись следующие основные виды работ:

- уборка строительного мусора, порубочных остатков и металлолома,
- планировка и уположивание нарушенных площадей дна карьера;
- формирование и уположивание откосов 1:3 (не круче 18°);

На биологическом этапе выполнялись следующие основные виды работ:

- посадка разновозрастных дичков сосны обыкновенной в количестве 5 000 шт./га вручную мечом Колесова.

На рекультивированных частях карьеров обследование состояния соснового молодняка показало, что приживаемость саженцев высокая, более 80 %, в результате чего сформировался достаточно плотный древостой (рис. 56).



Рис.56 – Подрост сосны в карьере № 3 около КС «Надымская» (фото Соромотин А.В., 2016 г.)

Основными негативными факторами приживаемости дичков на исследуемых песчаных карьерах являются переувлажнение, приводящее к вымоканию корневой системы и подсыхание корней раздуванием песчаной поверхности (рис. 57, 58).



Рис. 57 – Вымокание саженцев сосны в карьере №7 около КС «Надымская» (фото Соромотин А.В., 2016 г.)

Как известно, сосна в условиях переувлажнения обнаруживает весьма низкую сохранность (30%) и невысокие показатели роста (Лиханов, Железнова, 2012). Это подтверждается также и данными Коронатовой Н.Г. (2004) по проведенным исследований на карьерах в северной тайге Западной Сибири возле

Сибирских Увалов – увал Нумто в районе г.Ноябрьска, расположенных в 200 км юго-восточнее нашей территории исследования.



Рис. 58 – Гибель саженцев сосны от подсыхания корневой системы в результате дефляции поверхности в карьере №7 около КС «Надымская» (фото Соромотин А.В., 2016 г.)

Для определения влияния естественного восстановления растительности и рекультивации на физико-химические показатели почв песчаных раздувов различного генезиса нами были отобраны пробы почв сухоройных карьеров (почво-грунты), почв коренных сообществ (подзолы иллювиально-железистые и подзолы иллювиально-глеевые), почв анклава (примитивные слоистые почвы), почво-грунтов песчаного раздува. Это позволило оценить степень восстановительного потенциала почв для растительности. Результаты химического анализа отображены в таблице 25.

Плодородие почв определяется содержанием биогенных элементов (Каретин, 1990; Хренов, 2011). В исследованных разрезах определялись запасы элементов минерального питания растений – органический углерод, фосфор, калий, кальций, магний, гидролитическая, актуальная и обменная кислотности. Также исследовался гранулометрический состав отобранных образцов.

Результаты проведенных анализов показывают, что практически во всех пробах рассматриваемых объектов преобладают фракции мелкозернистого и крупнозернистого песка (табл. 24). Это определяется общим расположением

изучаемых объектов в пределах песчаных аллювиальных отложений второй надпойменной террасы рр. Надым и Лев. Хетта.

Таблица 24 – Гранулометрический состав верхнего плодородного слоя нарушенных почв карьеров и модельной котловины выдувания

Объект	Размер фракции (мкм), содержание (%)									
	0-2	2-10	10-25	25-50	50-75	75-100	100-250	250-500	500-1000	1000-2000
Карьер №1 (З)	-	1,01	0,83	1,30	0,11	1,70	52,09	40,66	2,31	-
Карьер №1 (О)	-	0,53	0,60	0,54	0,00	0,10	41,08	52,64	4,51	-
Карьер №2 (З)	0,06	1,43	1,50	3,85	4,98	5,91	43,37	33,45	5,46	-
Карьер №2 (О)	0,45	2,75	2,89	2,85	2,11	2,97	42,37	39	4,6	-
Карьер №3 (З)	-	-	-	-	-	0,02	21,84	56,73	21,41	-
Карьер №3 (О)	0,49	2,81	2,75	2,99	2,01	2,85	42,98	38,39	4,72	-
Карьер №4 (О)	-	0,51	1,01	2,46	2,43	4,79	50,11	32,16	5,89	0,56
Карьер №5 (З)	-	0,29	0,39	0,55	0,88	0,45	9,81	56,14	31,49	-
Карьер №5 (О)	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,98	61,47	30,55	-
Карьер №6 (З)	0,16	1,57	2,01	2,18	7,28	12,71	62,03	12,07	-	-
Карьер №6 (О)	-	0,00	0,38	0,21	0,00	0,62	50,38	45,21	3,19	-
Карьер №7 (З)	0,79	2,46	2,09	5,28	5,10	5,77	55,41	23,10	-	-
Карьер №7 (О)	-	-	-	-	-	0,88	72,55	26,57	-	-
Котловина (вершина дюны)	-	1,16	1,43	1,03	6,43	12,12	62,21	15,48	0,15	-
Котловина (подветренный склон дюны)	0,17	1,51	1,02	1,25	0,87	2,25	44,31	43,51	5,11	-
Котловина (междюнное пониж.)	3,55	12,20	18,16	24,36	18,87	11,45	10,27	1,09	0,05	-

З – зарастающие участки, О – оголенные участки

Гранулометрический состав почво-грунтов песчаного раздува подробно рассмотрен в главе 4.1, поэтому здесь мы остановимся подробнее на почвах карьеров и фооновых сообществ. Основную часть исследуемых нарушенных почв карьерных выработок составляют мелкозернистые (38-44 %) и среднезернистые пески (36-42%). Содержание глины и алеврита незначительно (0,5-6%). Такой состав сходен с песками в пределах подветренного склона, за исключение там повышенной доли крупнозернистого песка. Отличительной особенностью является несколько повышенная доля алеврита для почв карьеров по сравнению с песками модельной котловины выдувания.

Сравнивая физико-химические свойства изучаемых почв, следует отметить, что все рассматриваемые объекты являются слабокислыми по pH водной вытяжке, по pH солевой вытяжке имеют кислую реакцию среды (рис. 59). Фоновые почвы по pH водной и солевой вытяжке достигают минимальных значений и относятся к сильнокислым почвам (табл. 25).

Таблица 25 – Физико-химические показатели исследуемых почв

Объект	pH, ед.	pH, ед.	Гидролитическая кислотность	H ⁺	Al ³⁺	Обменная кислотность	Eh (ОВП)	C _{орг.}	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	P ₂ O ₅	K ₂ O
	(водн.)	(KCl)	мг-экв/100г				мВ	%	мг-экв/100г				мг/100 г	
Зарастающие участки карьеров (Б)														
Карьер №1	5,48	4,32	2,21	0,03	0,67	0,70	280,50	0,15	1,80	0,40	0,06	0,02	1,75	2,70
Карьер №2	6,11	4,61	0,76	0,03	0,19	0,22	272,80	0,06	0,60	0,60	0,02	0,01	0,92	0,55
Карьер №3	5,20	4,31	2,16	0,03	0,57	0,61	332,50	0,19	1,80	0,40	0,05	0,02	1,21	2,65
Карьер №5	6,78	4,58	0,67	0,02	0,31	0,34	299,00	0,03	0,60	1,00	0,02	-	1,26	0,70
Карьер №6	5,68	4,34	2,25	0,02	0,67	0,69	300,30	0,09	1,80	0,40	0,06	0,02	2,46	2,55
Карьер №7	5,31	4,42	2,25	0,02	0,53	0,55	308,80	0,24	1,00	0,40	0,02	0,02	3,22	1,05
Среднее	5,76	4,43	1,72	0,03	0,49	0,52	298,98	0,12	1,27	0,53	0,04	0,01	1,80	1,70
Ст. отклонение	0,59	0,13	0,78	0,01	0,20	0,20	21,21	0,08	0,60	0,24	0,02	0,004	0,88	1,04
Оголенные участки карьеров (О)														
Карьер №1	6,04	4,72	0,75	0,02	0,02	0,04	256,40	0,04	2,80	0,40	0,06	0,02	3,10	2,85
Карьер №2	5,82	4,49	0,95	0,02	0,13	0,15	292,20	0,09	2,40	0,40	0,03	0,01	0,89	1,50
Карьер №3	5,78	4,17	2,46	0,03	0,47	0,50	297,60	0,27	8,20	0,40	0,16	0,04	2,68	6,80
Карьер №4	3,95	4,62	0,76	0,03	0,14	0,17	304,50	0,06	1,40	0,40	0,02	0,02	0,86	0,70
Карьер №5	6,20	5,08	0,51	0,02	0,02	0,04	298,20	0,02	2,00	0,40	0,03	-	1,47	1,20
Карьер №6	5,91	4,36	1,34	0,06	0,26	0,32	294,20	0,05	4,00	0,40	0,07	0,03	4,86	3,00
Карьер №7	5,72	4,70	0,81	0,02	0,17	0,19	295,20	0,02	1,00	0,40	0,03	0,03	1,37	0,70
Среднее	5,63	4,59	1,08	0,03	0,17	0,20	291,19	0,08	3,11	0,40	0,06	0,02	2,17	2,39
Ст. отклонение	0,76	0,29	0,66	0,01	0,15	0,16	15,83	0,09	2,45	0,00	0,05	0,01	1,46	2,16
Модельная котловина выдувания														
Вершина дюны	5,64	4,40	1,94	0,03	0,62	0,65	265,10	0,06	1,80	0,60	0,04	0,01	1,01	1,35
Подветренный склон дюны	5,64	4,23	0,78	0,04	1,55	1,60	318,00	0,10	2,20	0,60	0,09	0,02	0,47	3,35
Междюнное понижение	5,60	4,67	4,88	0,03	0,19	0,21	218,00	0,06	0,80	0,40	0,02	0,03	1,03	0,70
Анклав	5,58	4,13	0,40	0,06	1,20	1,27	300,30	0,17	1,60	0,40	0,06	0,03	0,86	2,85
Фоновые условия (среднее по горизонтам А-В)														
Иллювиально-железистый подзол (7-40 см)	4,61	4,28	1,50	0,05	0,34	0,39	250,73	0,12	1,20	1,00	0,01	0,03	0,71	0,30
Глеево-подзолистая почва (6-52 см)	4,71	3,87	6,13	0,12	2,11	2,23	290,00	0,62	1,60	0,40	0,06	0,03	5,30	1,95

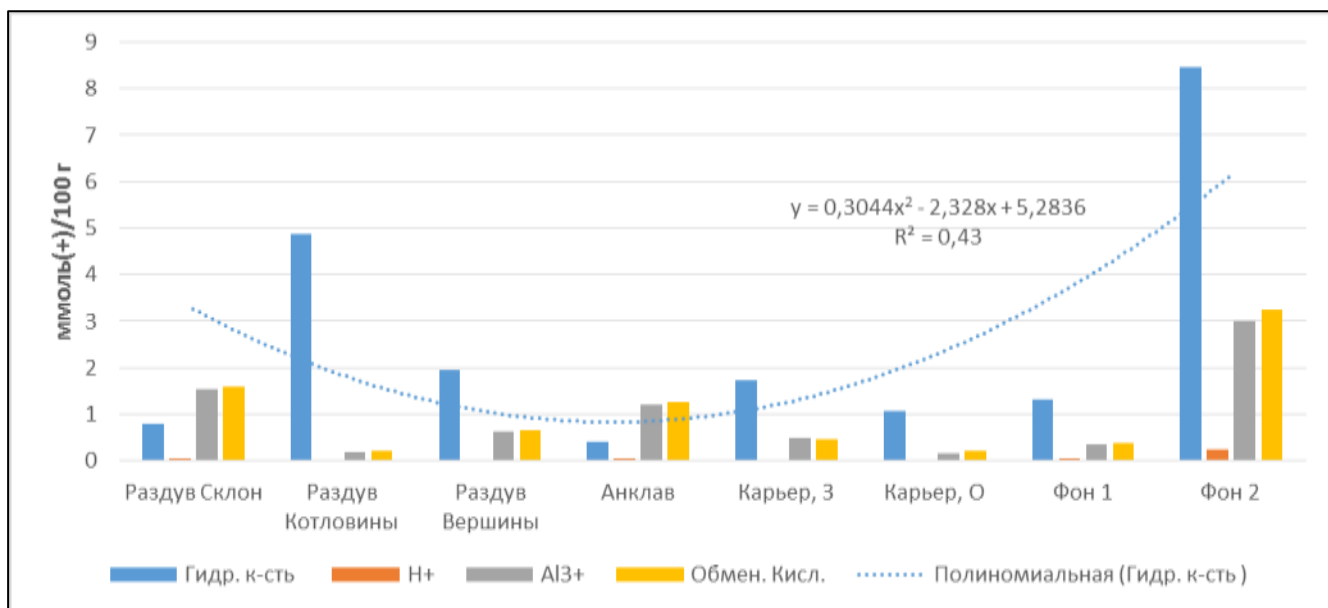


Рис. 59 – Динамика кислотности исследуемых почв.

Гидролитическая кислотность ожидаемо высока для глеево-подзолистой почвы (6,13 мг-экв/100г), наряду с повышенным значением обменной кислотности (2,23 мг-экв/100г), с преобладанием катионов алюминия (2,11 мг-экв/100г) (рис.72). В междюнном понижении при сопоставимом значении гидролитической кислотности (4,88 мг-экв/100г) существенно снижается обменная (0,21 мг-экв/100г). Для иллювиально-железистого подзола, вершины и подветренного склона дюны, а также для всех проб в карьерах вне зависимости от восстановления растительности показатели колеблются в пределах 0,5-2,5 мг-экв/100г для гидролитической кислотности и 0,04-0,7 мг-экв/100г для обменной кислотности (за исключением подветренного склона дюны, где обменная кислотность возрастает за счет кратковременных периодов повышенной влажности).

Напряженность окислительно-восстановительных процессов (ОВП) связана с условиями реакции среды, с величиной pH. Главные условия, определяющие интенсивность и направленность окислительно-восстановительных процессов — состояние увлажнения и аэрации почв, содержание органических вещества и деятельность микрофлоры (Скрынникова, 2000). Окислительно-восстановительный потенциал исследуемых проб варьирует от 218 до 330 мВ.

Фоновые значения ОВП примерно одинаковые со значениями пробы с котловины между дюнами и в 1,2-1,4 раза выше двух оставшихся проб. Содержание органического углерода в почвах песчаного раздуга имеет очень низкие значения по сравнению с почвами фоновых сообществ и карьеров (рис. 60).

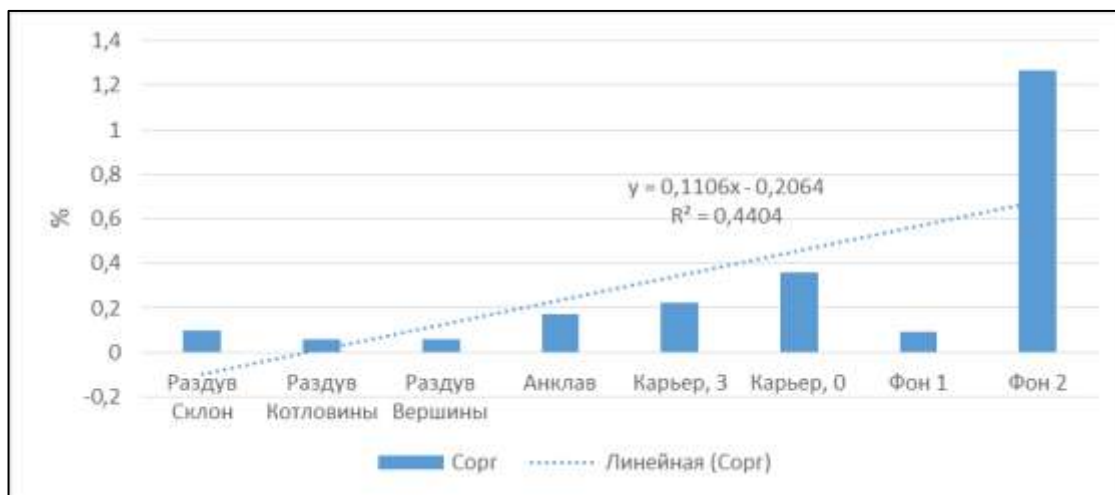


Рис. 60 – Динамика содержания органического углерода в исследуемых почвах.

Наибольшие значения в пробе с котловины между дюнами, но ниже фона в 13 раз. В двух других точках содержание одинаково равно 0,06 %, что в 22 раза ниже фона. В исследуемых песчаных карьерах северной тайги Западной Сибири (Коронатова, 2004) содержание органического углерода в молодом песчаном карьере в слое до 20 см равно 0,10 %, что соответствует полученному нами значению в пробе с котловины между дюнами.

Содержание гумуса, в наиболее распространённых в данной подзоне почв - подзолах, низко. Так, содержание гумуса в минеральных горизонтах подзолов северной тайги Западной Сибири менее 1 % (Караваева, 1973; Кленов, 1981). Гумусный профиль для всех типов подзолистых почв характеризуется наличием двух зон: верхней маломощной зоной, в которой накапливается некоторое количество бурых гуминовых кислот и происходит миграция фульвокислот, и нижней зоной, которая состоит из фульвокислот (Дергачева, 1984). Содержание органического углерода (C_{орг}) в минеральных горизонтах подзолов на Сибирских Увалах составляет от 0,11 до 0,32 % с максимумом в иллювиальном горизонте (Смоленцев, 2002).

Обменные основания магния содержатся в очень низком количестве и варьируют от 0,4 до 1,0 мг-экв/100г, что примерно совпадает с фоновыми значениями (0,4 мг-экв/100г).

Кальций является обязательным компонентом почвы. Усиливает фотосинтез и обмен веществ. Обменные основания кальция примерно соответствуют фоновым значениям. Максимальные показатели в пробе с карьера № 3 на оголенном участке. Максимальные показатели содержания кальция в почве наблюдаются на оголенных участках карьерных выработок в пределах локального заболачивания. Для почв песчаного раздува и зарастающих участков карьеров значения понижены и согласуются со значениями фоновых сообществ. Значения варьируют от 0,6 до 2,2 мг-экв/100г. В котловине между дюнами наблюдается максимальное значение (2,2 от 0,5 до 2,5 мг-экв/100г), что немного ниже значений фона, минимальные 0,6 мг-экв/100г в пробе с карьера № 2,5, что ниже фона в 2,6 раза.

Также в условиях локального заболачивания на оголенных участках карьеров наблюдается накопление фосфора и калия (до 4,86 и 6,8 мг/100 г соответственно). Это в целом соответствует показателям глеево-подзолистой почвы и существенно выше фоновых значений иллювиально-железистого подзола.

Содержание подвижной формы фосфора в исследуемых образцах варьирует от 0,47 мг/100 г в пробе с котловины между дюнами и до 5,3 мг/100 г в глеево-подзолистой почве фонового сообщества. Полученные значения в почвах песчаного раздува в 5- 11 раза ниже фоновых значений. Для почв карьеров наблюдаются более повышенные значения по сравнению с почвами песчаного раздува и варьируют от 0,86 мг/100 г до 3,22 мг/100 г на зарастающих участках и от 0,89 мг/100 г до 4,86 мг/100 г на оголенных. Высокое содержание подвижного фосфора для почв фоновых сообществ объясняется минералогическим составом. В минералогическом составе песчаных подзолистых почв Западной Сибири отмечено преобладание кварца, полевые шпаты, ильменит, кислые плагиоклазы, эпидот, циркон, роговая обманка, гранат, ставролит, хлорит, рутил, турмалин,

магнетит, гидрослюда (Василевская, Иванов, Богатырев, 1986). Так как в минеральную часть почв подзолов входят силикаты возможно повышенное содержание подвижного фосфора и других элементов питания. Содержание калия в пробах в среднем согласуется с значениями почв фоновых сообществ.

В целом, можно отметить, что на распределение физико-химических показателей в исследуемых почвах влияют, прежде всего, условия увлажнения. При общем песчаном составе почв условия дренажированности приводят к обеднению химического состава почв. При этом видно, что даже на локальных участках более увлажненных почв карьеров наблюдается относительное накопление калия и фосфора.

В отношении обеспеченности почвы основными элементами питания, можно сказать, что почва обеднена и обладает невысоким природным плодородием. Содержание соединений обменных оснований Ca, Mg, K в почвах может быть связано с особенностями строения надпойменных террас, состоящих из продуктов выветривания и переотложения первичных алюмосиликатных минералов и наложенных биогенных процессов. Динамика этих элементов относительно стабильна ввиду их слабой реакционной способности и невысокой биологической активности почв. Содержание кальция низкое в связи с высокой способностью к вымыванию его из песчаных почв.

Прослеживаются статистические значимые взаимосвязи общего проективного покрытия растительностью с кислотностью почв, а также содержанием органического углерода (табл. 25). В основе данного метода положен критерий Стьюдента, основанный на наличии различий в средних значениях, признаваемых достоверным в том случае, если значение p (вероятность) составляло меньше 0,05 или значение t (объединённая стандартная ошибка) было больше 1.

Гидролитическая и обменная кислотность, включая ионы водорода и алюминия составляют основу почвенно-поглощающего комплекса. Связь с такой кислотностью прямая и статистически значимая. Для исследуемых ландшафтов общая кислотность ландшафтов кислая. Биота стремится к нейтральной среде.

Однако, выделяется общий мощный тренд к кислым условиям среды, который нивелирует стремления биоты к нейтральной среде и в итоге приводит к оптимизации.

По таблице 28 видно, что почвы стремятся к кислым свойствам, и это общий ландшафтный тренд данной местности. Корреляционные связи статистически значимые между отдельными показателями кислотности являются подтверждением этому факту.

Уравнение регрессии ОПП от кислотности почв имеет вид

$$\text{ОПП} = -37,781 + 8,25311 \cdot \text{pH}(\text{KCl}) + 16,4829 \cdot \text{ГК} - 5143,28 \cdot \text{H}^+ - 5461,53 \cdot \text{Al}^{3+} + 5427,9 \cdot \text{ОК},$$

где ОПП – общее проективное покрытие; pH(KCl) – обменная кислотность, выявленная при солевой вытяжке; ГК – гидролитическая кислотность; H^+ – ионы водорода; Al^{3+} – ионы алюминия трехвалентного; ОК – обменная кислотность.

Таблица 28 – Коэффициенты корреляции между содержанием агрохимических элементов почв песчаного раздува, анклава, карьеров и фоновых почв и проективным покрытием растительностью

	ОПП	pH вод.	pH (KCl)	Гидр. к-сть	H^+	Al^{3+}	Обмен. кисл-ть	Eh (ОВП)	$\text{C}_{\text{орг}}$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	P_2O_5	K_2O
ОПП	1,00	-0,19	-0,50	0,51	0,55	0,51	0,52	0,35	0,60	-0,23	0,15	0,10	-0,08	0,43	-0,01
pH вод.		1,00	0,48	-0,50	-0,51	-0,48	-0,48	-0,30	-0,54	0,04	0,50	0,17	-0,14	-0,37	-0,05
pH (KCl)			1,00	-0,73	-0,78	-0,88	-0,88	-0,41	-0,83	-0,30	0,08	0,69	-0,46	-0,71	-0,55
Гидр. к-сть				1,00	0,83	0,75	0,76	-0,04	0,86	0,05	-0,26	0,42	0,14	0,75	0,23
H^+					1,00	0,87	0,89	0,26	0,95	0,07	-0,13	0,49	0,32	0,89	0,24
Al^{3+}						1,00	1,00	0,41	0,88	0,04	-0,01	0,57	0,40	0,71	0,34
Обмен. к-ть							1,00	0,41	0,89	0,04	-0,01	0,57	0,40	0,73	0,34
Eh (ОВП)								1,00	0,34	0,13	0,02	0,29	0,47	0,24	0,27
$\text{C}_{\text{орг}}$									1,00	0,13	-0,18	0,55	0,33	0,87	0,33
Ca^{2+}										1,00	-0,29	0,82	0,68	0,23	0,90
Mg^{2+}											1,00	0,22	0,10	-0,26	-0,26
K^+												1,00	0,78	0,53	0,95
Na^+													1,00	0,42	0,72
P_2O_5														1,00	0,35
K_2O															1,00

Примечание: $P < 0,05$

Данное уравнение объясняет 60,18 % изменчивости общего проективного покрытия от кислотности исследуемых песчаных почв и в 97,3 % кислотность зависит от общего проективного покрытия растительностью.

Во всех пробах наблюдается отсутствие карбонатности, что говорит о низком содержании щелочных соединений. Обратная связь с кислой реакцией среды связана прежде всего с природными особенностями подзоны северной тайги Западной Сибири. Зональным типом почвообразования является подзолообразование с участием фульвокислот, которые выделяются при хвойном опаде наиболее распространённых здесь хвойных пород деревьев. Содержание фульвокислот, поступающих с хвойным опадом, способствует окислению почвы, что свойственно песчаным и супесчаным почвам в условиях сиаллитизации минеральной части. Это способствует интенсивному развитию подзолообразования и формированию соответствующих горизонтов. Данный процесс развивается постепенно и достигает пика в период развития древесной хвойной растительности, что соответствует возрасту почвы от 40 лет (Махонина, 2004).

Основные элементы, участвующие в питании растений взаимосвязаны между собой различными обменными реакциями. Наибольшие показатели корреляционной связи присущи калию, натрию и кальцию, калию и натрию, а также калию и фосфору. Также основное направление корреляционных связей прослеживается между величинами pH и остальными показателями, особенно подвижными формами фосфора и калия, а также обменными основаниями. Чем ниже величина pH (кислее условия среды), тем меньше биогенных и обменных элементов в почве и, как следствие, происходит угнетение биоценозов.

Довольно сильную статистически значимую прямую связь имеет общее проективное покрытие от содержания органического углерода. Органический углерод напрямую зависит от количества органики в почве. Поэтому чем больше проективное покрытие, тем больше становится содержание органического углерода. Что отображает участие органоминеральных микроэлементов в питании растений. Чем больше становится углерода, больше биомассы, больше опада за короткий период времени, и как следствие этому, формируется большое проективное покрытие растительностью. Это наблюдается в формировании устойчивых островов (анклавов) густой растительности на дюнах.

Результаты определения валового содержания оксидов химических элементов показали, что для всех объектов характерна высокая (70-84%) доля SiO_2 , что является следствием песчаного состава аллювиальных отложений (табл.29). Максимальные значения (83-84%) отмечаются для котловины выдувания (вершина и подветренный склон дюны). В междюнном понижении в более гидроморфных условиях повышается доля Al_2O_3 и Fe_2O_3 .

Таблица 29 – Валовое содержание оксидов химических элементов верхнего плодородного слоя нарушенных почв карьеров, модельной котловины выдувания и фоновых почв

Объект	Содержание, %						
	SiO_2 , %	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	TiO_2	Na_2O	CaO
<i>Зарастающие участки карьеров</i>							
Карьер №1	72,1	10,7	2,5	2,0	0,8	0,8	0,7
Карьер №2	78,8	4,5	0,6	1,7	0,2	0,6	0,4
Карьер №3	78,2	4,7	0,8	1,3	0,3	0,6	0,4
Карьер №5	74,8	2,4	0,3	0,9	0,2	0,4	0,2
Карьер №6	73,8	11,3	2,6	2,1	0,8	0,8	0,6
Карьер №7	75,4	6,6	0,8	2,0	0,3	0,6	0,6
Среднее	75,5	6,7	1,3	1,7	0,4	0,6	0,5
Ст. отклонение	2,58	3,59	1,03	0,48	0,29	0,16	0,20
<i>Оголенные участки карьеров</i>							
Карьер №1	73,2	4,3	1,0	1,5	0,2	0,6	0,4
Карьер №2	77,3	2,7	0,3	1,1	0,1	0,4	0,2
Карьер №3	69,6	5,1	0,8	1,1	0,4	0,6	0,3
Карьер №5	75,8	2,6	0,3	1,1	0,2	0,4	0,2
Карьер №6	73,7	5,8	0,7	1,4	0,3	0,6	0,4
Карьер №7	79,0	5,0	0,7	1,0	0,4	0,5	0,3
Среднее	74,8	4,2	0,6	1,2	0,3	0,5	0,3
Ст.отклонение	3,35	1,29	0,27	0,18	0,09	0,07	0,09
<i>Модельная котловина выдувания</i>							
Вершина дюны	83,4	3,0	0,6	0,8	0,4	0,4	0,3
Подветренный склон дюны	84,1	3,7	0,4	1,8	0,2	0,5	0,3
Междюнное понижение	69,7	10,6	2,0	1,9	0,8	0,7	0,6
<i>Фоновые условия (среднее по профилю)</i>							
Иллювиально-железистый подзол	81,12	2,31	0,34	0,57	0,20	0,45	0,21
Глеево-подзолистая почва	73,33	8,39	1,48	1,70	0,58	0,66	0,51

По сравнению с котловиной выдувания в карьерах в среднем на 5-10% ниже содержание SiO_2 с пропорциональным ростом доли Al_2O_3 и Fe_2O_3 . Существенных отличий между зарастающими и оголенными участками в карьерах не наблюдается.

Можно отметить, что фоновые типы ландшафтов также не влияют на структуру химического состава. Так в карьерах №1 и №6, расположенных в березово-лиственнично-сосновых лишайниковых и елово-лиственничных с примесью сосны, березы и кедра зеленомошных лесах соответственно, выделяются идентичные повышения содержания Al_2O_3 и Fe_2O_3 . Вероятно это связано с локальными геохимическими особенностями, определяющимися особенностями микрорельефа, в частности формированием заболоченных понижений.

В фоновых условиях на длительно стабилизированном участке эоловых песков к западу от котловины в среднем по профилю сформировавшегося иллювиально-железистого подзола сохраняется монокремниевый химический состав (доля SiO_2 более 80%), в то время как для глеево-подзолистых почв повышается доля Al_2O_3 (8%) и Fe_2O_3 (1,5%) при снижении доли SiO_2 до 73%.

Несмотря на сходство гранулометрического и химического состава, по ряду показателей (уровень кислотности, содержание минеральных питательных элементов и подвижных оснований) песчаные карьеры значительно отличаются как от естественных песчаных раздувов, так и от условий фоновых автоморфных лесов. Относительно благоприятные условия, которые кратковременно формируются после прекращения активного антропогенного воздействия могут способствовать повышению эффективности рекультивационных мероприятий. Следует отметить, что на формирование благоприятных физико-химических условий почв для произрастания растительности на естественных песчаных раздувах и в карьерах большое влияние оказывает рельеф. В пределах котловины за счет чередования дюн и междюнных понижений образуется мозаичная структура поверхности, что снижает интенсивность эолового переноса и позволяет формироваться почвенно-растительным анклавам вдоль подветренных склонов наиболее высоких дюн. В песчаных карьерах со склонов, а, при отсутствии водоупора, и со всей поверхности вынос ветром легких частиц происходит беспрепятственно, что приводит к формированию песчаных сухих

пустошей и значительно затрудняет закрепление пионерных видов растительности.

В целом, при благоприятных условиях естественное зарастание карьеров происходит довольно быстро. Некоторые исследователи (Седых, 2011) даже высказывают мнение о том, что для северных территорий рекультивация не требуется, поскольку естественное восстановление леса произойдет быстрее и более качественно.

В результате комплексного изучения основных способов рекультивации были составлены *рекомендации к производству*.

В качестве основного метода закрепления песчаных раздувов предлагается создание лесных культур методом посадки леса. На легких супесчаных и песчаных сухих почвах с быстро пересыхающими верхними горизонтами, особенно на участках, подверженных водной и ветровой эрозии именно посадка обеспечивает лучшую приживаемость, хороший рост и развитие растений.

Создание лесных насаждений, в зависимости от наличия или отсутствия древостоя на участке в недавнем прошлом, осуществляется в формах лесовосстановления или лесоразведения. *Лесовосстановление* осуществляется в целях восстановления вырубленных, погибших, поврежденных лесов. Лесоразведение осуществляется на землях лесного фонда и на землях иных категорий в целях предотвращения эрозии почв и других связанных с повышением потенциала лесов целях. Рекультивация песчаных карьеров осуществляется путем лесовосстановления. *Лесоразведение* осуществляется на землях, на которых ранее не произрастали леса, с целью предотвращения водной, ветровой и иной эрозии почв, создания защитных лесов и иных целей, связанных с повышением потенциала лесов. Закрепление песчаных пустошей естественного происхождения предлагается осуществлять путем лесоразведения. Лесоразведение регламентируется Правилами лесоразведения, утвержденными приказом Рослесхоза от 10.01.2012 № 1 «Об утверждении Правил лесоразведения»

В соответствии с «Лесохозяйственным регламентом Надымского лесничества», утвержденными Департаментом природно-ресурсного

регулирования, лесных отношений и развития нефтегазового комплекса Ямало-Ненецкого АО (Приказ № 5189 от 24 декабря 2018 г.) в условиях ЯНАО заниматься посадкой необходимо на лесных почвах, подверженных водной и ветровой эрозии.

Основным методом лесоразведения на участках нарушенных земель принимается посадка крупномерных саженцев деревьев хвойных и лиственных пород (саженцы и черенки). Породный состав создаваемых лесных насаждений на участках определяется с учетом лесорастительного района расположения участка, типа лесорастительных условий на участке до передачи его в аренду (сухоройные карьеры) и особенностей микрорельефа на каждом участке. В экстремальных условиях сухих и очень сухих песков следует отдавать предпочтение сосне обыкновенной, где вполне возможно создавать чистые культуры (рис. 61).



Рис. 61 – Лесные культуры сосны, ольхи кустарниковой и ивы, созданные из дичков, на сухоройном карьере №5 в Надымском районе ЯНАО (возраст 12-16 лет, фото Лоботросова С.А., 2017г.)

Культуры лиственницы более успешны на площадях с плодородными суглинистыми почвами (Агеев, 2017).

На участках подверженных ветровой эрозии, подвижные пески должны закрепляться путем создания кулис из ивы кустарниковой. Определенные

особенности имеет лесоразведение на линейных (малая ширина и большая протяженность) участках при достаточно большой их площади. Наиболее целесообразным в таком случае представляется лесоразведение путем «шелюгования» или создания лесных культур ивы кустарниковой. При составлении проекта лесоразведения на таковых участках необходимо учитывать требования к охраняемым зонам линий электропередачи, нефтегазопроводов, дорог, равно необходимость эксплуатации указанных объектов и ее особенности (Лесохозяйственный регламент Надымского лесничества). На бортах карьеров основным лимитирующим фактором является укоренная ветровая эрозия, приводящая к обнажению корневых систем растений и из-за подсыпания, что приводит к гибели саженцев. На нижних частях карьерных выемок, в оврагах и других депрессиях местности основным лимитирующим фактором лесоразведения становится длительное обводнение вследствие близкого залегания грунтовых вод, длительному сохранению весенних талых или дождевых вод, приводящее к вымоканию корней саженцев и их быстрой гибели.

Приведенные в таблице 27 обобщенные рекомендации к созданию лесных насаждений, в притундровых редкостойных и таежных лесах Ямало-Ненецкого автономного округа, на участках нарушенных земель, как основной метод определяют посадку крупномерных саженцев деревьев хвойных пород.

Ввод ивы кустарниковой, как быстрорастущего и наиболее выносливого кустарника, в состав насаждений в качестве сопутствующей породы обусловлен необходимостью защиты почв от ветровой эрозии. Ива служит пионерной древесной (кустарниковой) породой, подготавливающей условия для успешного произрастания других, более перспективных пород (Лесохозяйственный регламент Надымского лесничества).

Защиты почв от ветровой эрозии обеспечивается вводом в состав насаждений в качестве сопутствующей породы ивы кустарниковой, как быстрорастущего и наиболее выносливого кустарника. Ива служит пионерной древесной (кустарниковой) породой, подготавливающей условия для успешного произрастания других, более перспективных пород. Также ива обладает высокой

экологической пластичностью, приживаемостью и адаптационными способностями, может достаточно долго находиться в «спящем» состоянии и при достаточном увлажнении давать быстрый рост. Кроме того, при высадке ивы не требуется дополнительный уход (внесение удобрений, полив и т.д.).

Таблица 27 – Обобщенные рекомендации к созданию лесных насаждений при лесоразведении в притундровых редкостойных и таежных лесах Ямало-Ненецкого АО

Группы лесорастительных условий	Метод создания лесных насаждений	Породный состав		Первоначальная густота, тыс. шт/га	Примечание
		Главная порода	Сопутствующи е породы		
Сухоройные карьеры					
Свежие, периодически влажные хорошо дренированные на плоских, слабовыпуклых и склоновых элементах рельефа. Супесчаные или песчаные (редко) почвы	Посадка лесных культур. Шелюгование. Контурная посадка и укладка фашин по бортам карьера.	Сосна	Береза, ольха кустарниковая, ива (на избыточно увлажненных и подверженных эрозии	Не менее 4 тыс.	Сеянцы-дички для сосны, березы и ольхи кустарниковой. Черенки и саженцы- дички для ивы.
Влажные, периодически сырые дренированные на пониженных элементах рельефа. Суглинистые, супесчаные или песчаные (редко) почвы	Посадка лесных культур. Шелюгование.	Ольха кустарниковая	Береза, ива	Не менее 4 тыс. шт.	Сеянцы-дички для березы и ольхи кустарниковой. Черенки и саженцы- дички для ивы.
Естественные песчаные раздувы					
Сухие, свежие. Возвышенные и склоновые элементы рельефа. Песчаные или супесчаные (редко) почвы	Контурная посадка и укладка фашин.	Ива	Ольха кустарниковая, береза, сосна (на свежих супесчаных)	Не менее 4 тыс.	Сеянцы-дички для березы и ольхи кустарниковой. Черенки и саженцы-дички для ивы.

Для стимулирования почвообразовательного процесса, обеспечения фитоценотического разнообразия и улучшения плодородия почвы рекомендуется введение в каждую третью лесокультурную полосу саженцев ольховника, березы

и ивы. Схема смешения культивируемых пород на каждом участке подбирается индивидуально с учетом площади участка, его конфигурации, особенностей микрорельефа.

Заготавливать сеянцы-дички необходимо в охранных зонах линейных объектов инфраструктуры транспорта нефти и газа (магистральные нефтегазопроводы, автодороги, трассы ЛЭП). Условия формирования подроста самосева сосны в этих открытых участках максимально соответствуют будущим местообитаниям (песчаным карьерам). Наиболее благоприятное время для заготовки и посадки дичков – сентябрь.

Как известно, чтобы снизить риски и ускорить темпы формирования древесного яруса нужно осуществлять посадки дичков с комом земли, в связи с их крупными размерами, меньшим стрессом при пересадке, большей устойчивостью к прессу биогенных и абиогенных факторов приживаемость повышается. Формирование искусственного травостоя благоприятно влияет на рост крупномерного посадочного материала (Лиханова, Ковалева, 2018)

Основные технологические операции на биологическом этапе при природоохранном направлении рекультивации направлены на снижение последствия техногенных нарушений почвенно-растительного покрова, создание зеленого ландшафта, восстановление необходимых условий для жизни животного мира, улучшение качества нарушенного поверхностного слоя почвы, предотвращения водной и ветровой эрозии.

Демутационный метод не приемлем в условиях лесотундры и северной тайги Западной Сибири, особенно для дренированных территорий вследствие пересыхания поверхности, низкой приживаемости саженцев и гибелью сеяных травостоев. Организация постоянного полива культур и посевов не предусмотрена после завершения работ и приема рекультивированного карьера комиссией. Наиболее эффективным методом рекультивация песчаных карьеров является мульчирование торфяно-песчаной смесью с последующим внесением комплексных удобрений и посевом районированных травосмесей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований были изучены фитоценозы песчаных раздувов северной тайги Западной Сибири и выявлены основные стадии сукцессии, что позволило сделать следующие выводы:

1. Флора естественных развеваемых песков северной тайги Западной Сибири в пределах изучаемого модельного раздува насчитывает 27 видов сосудистых (21 род и 13 семейств) и 11 видов споровых растений (мхи и лишайники, 7 родов и 5 семейств). В сравнении с исследованиями других регионов России (Забайкалье, полуостров Ямал, северо-восточная окраина Русской равнины, Печорская низменность) отмечено меньшее видовое разнообразие и преобладание сосудистых растений над мхами и лишайниками.

2. На поверхности песчаного раздува выделены три вида основных растительных фитоценозов: пижмово-овсяницевый на вершинах, овсяницево-вейниковый подветренных склонов, овсяницево-политриховый котловин между дюнами. На стабильном песчаном субстрате (анклавы) формируются лиственнично-сосновые мохово-лишайниковые леса.

3. Экологические ряды закрепления песчаных массивов отражают два направления первичной эоловой экзогенетической (аллогенной) сукцессии – циклическое и линейное. Закономерная циклическая флуктуация состоит из четырех стадий: отсутствие растительного покрова → доминирование многолетних дерновинных трав → доминирование многолетних длиннокорневищных стержнекорневых трав → доминирование многолетних дерновинных трав и лишайниково-мохового покрова. Линейная сукцессия состоит из шести стадий с образованием климаксового сообщества: отсутствие растительного покрова → доминирование многолетних дерновинных трав → доминирование многолетних длиннокорневищных стержнекорневых трав → доминирование многолетних дерновинных трав и лишайниково-мохового покрова → с доминированием мохово-лишайникового покрова с участием

древесно-кустарниковой растительности сосновых редколесий → редкостойный лиственнично-сосновый кустарничково-мохово-лишайниковый лес.

4. Основными метеоэлементами, влияющими на успешность произрастания растений являются скорость ветра и относительная влажность воздуха с оптимальными значениями на подветренных склонах дюн – минимальные ветровые нагрузки и максимальные значения влажности.

5. Наиболее эффективными мероприятиями рекультивации оголенных песков в подзоне северной тайги Западной Сибири являются внесение торфа с последующим перемешиванием с песком. Продуктивный рост (высота, обилие и проективное покрытие) показали следующие виды трав: вейник Лангсдорфа, овсяница овечья, кострец безостый, тимopheевка луговая, райграс многолетний. Основной технологией рекультивации песчаных карьеров в северной тайге Западной Сибири при лесохозяйственном направлении является посадка саженцев-дичков сосны обыкновенной. Сопутствующими породами являются береза повислая, ольховник кустарниковый, ива прутовидная, ива трёхтычинковая.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов Н.В. Мелиорация и почвоведение. / Н.В. Абрамов, Н.И. Сулима, М.Г. Уфимцева, В.И. Чиков. // Учебно-справочное пособие ТГСХА. - Тюмень, 2003. - 135с.
2. Абрамов И.Т. Определитель лишайников СССР// т.1. – Л.:Наука,1971 – 412 с. – т.3. – Л.:Н, 1975 – 217 с. – т.5. – Л.:Наука,1978 – 217с.
3. Абрамов И.И., Волкова А.А. Определитель листостебельных мхов Карелии // Ботанический журнал, 1998. – т.7, приложение 1. – 390с.
4. Агеев А.А. Лесные культуры: учебное пособие / «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», Красноярск,2017. - 95 с
5. Александрова В.Д. Динамика растительного покрова // Полевая геоботаника. Т. 3. – М-Л.: Наука, 1964. – С. 300-450.
6. Ананьев М.Е. Особенности выращивания семян сосны в условиях сухой степи Алтайского края. Дисс. канд. биол. наук: 03.00.16. - Барнаул, 2006. - 125 с.
7. Андреев Ю.Ф. Зональность проявления новейших тектонических движений на северо-востоке Западно-Сибирской плиты//Труды ВНИГРИ, 1971. Вып. 293. С. 162-175.
8. Антропогенные изменения экосистем Западно-Сибирской газоносной провинции / Н.Г. Москаленко, А.А. Васильев, С.Н. Гашев и др. М., ИКЗ СО РАН, 2006, 358 с.
9. Аристархова Л.Б. Процессы аридного рельефообразования. М.: Изд-во МГУ, 1971. - 176 с.
10. Арктическая флора СССР // Вып. 9. Ч.1; 2. – Л.: Наука, 1984. – 332 с. – Вып.8. – Л.: Наука, 1983. – 188 с.
11. Арнагельдыев А.Р. Морфология эолового рельефа песчаных пустынь. Ашхабад: Ылым, 1990. - 164 с.

12. Арчегова И.Б. Эффективная система природовосстановления — основа перспективного природопользования на Крайнем Севере. — Сыктывкар, 1998.— С. 10.
13. Арчегова И.Б., Евдокимова Т.В., Котелина Н.С. и др. Восстановление — конструктивная часть проблемы защиты природы // Освоение Севера и проблемы рекультивации. Доклады III Международной конференции (Санкт-Петербург, 27-31 мая 1996 г.) — Сыктывкар, 1997. — С. 4-10.
14. Арчегова И.Б., Котелина Н.С., Турубанова Л.П. Возобновление биологического разнообразия на техногенных территориях Севера в процессе ускоренного природовосстановления // Биологическое разнообразие антропогенно трансформированных ландшафтов Европейского Северо-Востока России. — Сыктывкар, 1996. — С. 59-70. (Тр. Коми НЦ УрО РАН; Вып. 149).
15. Арчегова И.Б., Котелина Н.С., Грунина Л.К. и др. Экологические основы управления продуктивностью агроценозов восточноевропейской тундры.—Л., 1991. — 152 с.
16. Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа. - М.: ГУГК, 2004
17. Афанасьева Т.В., Василенко В.И. Почвы. // Природные условия центральной части Западно-Сибирской равнины. М.: Изд-во МГУ, 1977. - С.80-112
18. Баженова О.И. и др. Пространственно-временной анализ динамики экзогенных процессов на юге Восточной Сибири. - Новосибирск: Наука, 1997. - 208 с
19. Бакулин В.В., Козин В.В. География Тюменской области. Учебное пособие. Екатеринбург: Средне-Уральское кн. Изд-во, 1996 - 240 с.
20. Биологическая рекультивация нарушенных земель на Ямале: Рекомендации/РАСХН. Сиб. отд-ние. НПО «Северное Зауралье». Ямал. с.- х. опыт. ст. - Новосибирск, 1994. - 48 с.
21. Биологическая рекультивация на Севере (вопросы теории и практики) //Тр. Коми фил. АН СССР, № 39. — Сыктывкар, 1992. — 104 с.

22. Богомолов А.В. Окультивирование песков в Надымском районе Тюменской области // Тезисы докладов III межрегиональной научно-практической конференции. – Бишкек : 1992. – С. 164-165
23. Богомолов А.В. Окультивирование песков в Приполярье Тюменской области. Автореферат диссертации кандидата сельскохозяйственных наук. – Тюмень, 1993
24. Богомолова Л.Л. Рациональная организация и экономическая эффективность окультуривания песчаных почв Приполярья Тюменской области. Автореферат диссертации кандидата экономических наук. – Новосибирск, 1995
25. Болота Западной Сибири, их строение и гидрологический режим / под ред. К.Е. Иванова, С.М. Новикова - Л.: Гидрометеиздат, 1976. - 450 с
26. Бридицкайте Р.Ю. Особенности почвообразования в песчаных ландшафтах Литовской ССР: Автореф. дисс. канд. геогр. наук. - Каунас, 1971. - 22с.
27. Вальтер Г. Растительность земного шара. Т. I. М.: Прогресс, 1973. 425 с.
28. Вальтер Г. Растительность земного шара. М.: Прогресс, 1975. Т. III. 426 с.
29. Вальтер Г. Общая геоботаника. Перевод и предисловие Еленевского А.Г. М.: Мир, 1982. 264 с.
30. Васильевская В. Д., Иванов В. В., Богатырев Л. Г. Почвы севера Западной Сибири. МГУ Москва, 1986. С. 227
31. Васильев С.В. Лесные и болотные ландшафты Западной Сибири. Томск: Изд-во НТЛ, 2007. 276 с.
32. Величко А.А., Тимирёва С.Н. Западная Сибирь - великая позднеледниковая пустыня // Природа, 2005, № 5. - С. 54-62.
33. Волков И. А. Роль эолового фактора в эволюции рельефа // Проблемы экзогенного рельефообразования. - М.: Наука, 1976. - Кн. 1. - С. 264-288.
34. Воронов А.Г. Геоботаника. - М.:Высшая школа, 1973. - 384 с.
35. Восстановление земель на крайнем севере. Сыктывкар, 2000. – 152с.
36. Выркин В. Б. Современное экзогенное рельефообразование котловин байкальского типа. - Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 1998. - 175 с.
37. Выркин В.Б. Эоловое рельефообразование в Прибайкалье и Забайкалье. - Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2010. - Н.3- С.25-32

38. Гаджиев И.М., Овчинников С.М. Почвы средней тайги Западной Сибири. - Новосибирск: Наука, 1977
39. Гаель А.Г., Смирнова Л.Ф. Пески и песчаные почвы. - М.: Наука, 1999. -460 с
40. Гашева М.Н., Гашев С.Н., Соромотин А.В. Состояние растительности как критерий нарушенности лесных биоценозов при нефтяном загрязнении // Экология. 1990. №2. - С. 77-78.
41. Герасимов И.П. Разделение европейской части СССР на области и районы // Почвы СССР. - М; Л.: Изд-во АН СССР, 1939. - Т.1. - С. 19-26
42. Гвоздецкий Н.А. Основные проблемы физической географии. - М.: Просвещение, 1979. - 46с.
43. Голубкова Н.С. Определитель лишайников России. Алекториевые, Пармелеевые, Стереокаулоновые. – С-Птб. Наука, 1996. – 203 с.
44. Городков Б.Н. Вечная мерзлота и растительность // Вечная мерзлота. Л.: Изд-во АН СССР, 1930. - С.48-60.
45. Гройсман Я.М. , Михайлова Л.М., Морозова В.А., Хохлова Л.М. Отчет партии №4 по геологической съемке М 1:1 000000 бассейна р.Хейги-Яха (Лонг-Юган). ВСЕГЕИ, Ленинград, 1954г.- 192 с.
46. Груздев Б.И., Мартыненко В.А. Растительный покров техногенных участков на европейском Севере//Освоение севера и проблема рекультивации: Докл. III междунар.конф. 25-28 апреля 1994 г. - Сыктывкар, 1994. - С.103-107.
47. Груздев Б.И., Умняхин А.С. Влияние вездеходного транспорта на растительность Большеземельской тундры // Устойчивость растительности к антропогенным факторам и биорекультивация в условиях Севера. Сыктывкар, 1984. С. 19-22.
48. Данилов Ю.И., Петров В.А, Навалихин С.В. Рост и продуктивность культур сосны при рекультивации песчаных карьеров// Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Санкт-Петербург. Материалы третьей международной научно-технической конференции. Санкт-Под редакцией В.М. Гедьо. 2018. С.92-94.

49. Дергачева М.И. Органическое вещество почв: статика и динамика. (на примере Западной Сибири). -Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1984. - 152 с.
50. Добровольский Г.В., Урусевская И.С., Розов Н.Н. Карта почвенно-географического районирования СССР. М.,: ГУГК, 1986
51. Добровольский Г.В. Никитин Е.Д, Афанасьева Т.В. Таежное почвообразование в континентальных условиях. - М.: Изд. МГУ, 1981. -216 с.
52. Дорогостайская Е.В. Антропофильная флора Крайнего Севера // Бот. Журн. 1968. Т. 53. №11. С. 1580-1587
53. Драницын Д.А. Материалы по почвоведению и геологии западной части Нарымского края. - «Тр. почв.-бот. экспед. по исслед. колонизац. р-нов Азиатской России», ч. 1, вып. 1, 1915
54. Дружинина О.А. , Мяло Е.Г. Охрана растительного покрова Крайнего Севера: проблемы и перспективы. М.: Агропромиздат, 1990. 176 с.
55. Дулепова Н.А. Флора и растительность развееваемых песков Забайкалья // диссертация. канд. биол. наук. Новосибирск, 2014. - 243 с.
56. Дьяконов К.Н., Ретеюм А.Ю. Гидротермический режим и биологическая продуктивность лесотундры нижнего Приобья // Природные условия и особенности хозяйственного освоения северных районов Западной Сибири / Под ред. Л.Ф. Куницына. - М.:Наука, 1969. - С. 96-105.
57. Евсеева Н.С., Головеров А.Г., Попкова Н.И. Современные процессы рельефообразования в бассейне среднего и нижнего течения р. Чулым // Вопросы географии Сибири. - Томск, 1984. - Вып. 16. - С. 48-57.
58. Евсеева Н.С. Современные процессы рельефообразования юго-востока Западно-Сибирской равнины: дисс. д-ра геогр. наук: 25.00.25. - Томск: РГБ, 2007. - 735 с.
59. Евсеев Г.П., Рейнин И.В. Геологическое строение и геоморфология бассейнов р.Танлова, Правая Хетта, Большая Хуху (правых притоков среднего отрезка р.Надым). ВНИГРИ, Ленинград, 1953 г. - 176 с.

60. Евстигнеев О.И., Коротков В.Н. Сукцессии сосновых лесов зандровой местности в Неруссо-Деснянском полесье // Бюллетень Брянского отделения русского ботанического общества. – Брянск, 2013. – №1. – С.31-41.
61. Ермохина К.А., Фитоиндикация экзогенных процессов в тундрах Центрального Ямала, диссертация канд. геогр. наук, Москва, 2009. - 166 с.
62. Жиркова В.В., Иванова А.М., Долгунова Т.А. Изучение динамики развития тукуланов Вилуйского района Республики Саха (Якутия) // Земля из космоса, 2012, - №13. - С. 47-50.
63. Зарубин С.И., Колмаков В.П., Логинов Л.Ф. Организация семенного фонда для восстановления разрушенного растительного покрова лесотундры и тундры Западной Сибири // Освоение Севера и проблема рекультивации. Тезисы доклада I международной конференции – Сыктывкар: Иститут биологии Коми научного центра УрОРАН. ,1991. – С. 85-86.
64. Зарубин С.И. Закон «первого» в установлении взаимоотношений продуцентов при формировании и развитии экосистем // Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности. Доклад IV научно-практической Всероссийской конференции - СПб, 199. – С.263-273.
65. Земцов А.А. О зандровой равнине в центральной части Западно-Сибирской низменности. // Ледниковый период на терр. евр. части СССР и Сибири. М., Изд-во МГУ, 1959
66. Земцов А.А. Перевевания песков на севере Западно-Сибирской низменности // Вопросы географии Сибири, 1962, № 4
67. Золотокрылин А.Н., Климатический фактор динамики растительности засушливых земель Европейской территории России, сборник трудов Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, Москва ИГКЭ, 2009 - Том XXII.- с.79-92
68. Зольников В.Г., Попова А.И. Палеогеографическая схема четвертичного периода равнины Центральной Якутии // Труды Института биологии. - М.: Издательство АН СССР, 1957. - Вып. 3. - С. 5-8.

69. Зыкина В.С., Зыкин В.С., Вольвах А.О., Овчинников И.Ю., Сизов О.С., Соромотин А.В. Строение, криогенные образования и условия формирования верхнечетвертичных отложений Надымского Приобья// Криосфера Земли, 2017, т. XXI, № 6, с. 14-25.
70. Иванов В.Н. Песчаные породы и методы их изучения. Л., Недра, 1969. - 248 с.
71. Игловиков. А.В. «Биологическая рекультивация карьеров в условиях Крайнего Севера» Диссертация на соискание ученой степени. Барнаул, 2012.
72. Игошева Н.И. Флора и растительность нарушенных земель в подзоне южных гипоарктических тундр. Экология, 2007, №2. -с. 144-148
73. Игошева Н.И. Анализ антропогенной трансформации растительности // Освоение Севера и проблемы рекультивации: Докл. III междунар. конф. (С.-Петербург, 27-31 мая 1996 г.). Сыктывкар, 1997. С. 51-55.
74. Ильина И.С., Лапшина Е.И., Лавренко Н.Н. Растительный покров Западно-Сибирской равнины. Новосибирск, Наука, 1985. 248 с
75. Интерпретация комбинаций каналов данных Landsat TM/ETM+ // GIS LAB. URL: <http://gis-lab.info/qa/landsat-bandcomb.html> (дата обращения: 18.02.2016).
76. Исаков Ю.А., Казанская Н.С., Тишков А.А., Зональные закономерности динамики экосистем. - М.: Наука, 1986. - 152 с.
77. Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. -М.: Высшая школа, 1991. -366с.
78. Исаченко А.Г. Теория и методология географической науки. М.: Академия, 2004. - 400 с.
79. Калабин Г. В. Спутниковый мониторинг природной среды при открытой разработке Олимпиадинского золоторудного месторождения / Г. В. Калабин, Т. И. Моисеенко, В. И. Горный, С. Г. Крицук, А. В. Соромотин // ФТПРПИ. 2013. № 1. С. 177-184.
80. Кальянов К.С. Динамика ветровой эрозии. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. - 135 с.

81. Камышев А.П. Методы и технологии мониторинга природно-технических систем Севера Западной Сибири. - М.: ВНИПИГАЗОДОБЫЧА, 1999. - 230 с.
82. Капелькина Л.П., Об естественном зарастании и рекультивации нарушенных земель севера. Материалы конф. Успехи современного естествознания, № 11, 2012. - с. 98-102.
83. Капелькина Л.П. Экологические аспекты оптимизации техногенных ландшафтов. - СПб., 1993. - 191 с.
84. Капитонова О.А., Селиванов А.Е., Капитонов В.И., Особенности зарастания песчаных обнажений на севере Западно-Сибирской равнины. Международный научно-исследовательский журнал. № 10 (52). Часть 4. Октябрь 2016г, 41-45 с.
85. Капитонова О.А., Селиванов А.Е., Капитонов В.И. Пространственная динамика растительности на антропогенных песчаных обнажениях в северотаежной подзоне Западной Сибири // Экология биосистем: проблемы изучения, индикации и прогнозирования: Сб. материалов III Международ. научно-практ. конф., посвященной 85-летию Астраханского гос. ун-та. Астрахань: Издатель Сорокин Роман Васильевич. 2017. С. 80-84.
86. 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. Вып. 6. С. 731-745.
87. Караваева Н.А. Почвы тайги Западной Сибири. - М.: Наука, 1973. - 168 с.
88. Каретин Л.Н. Почвы Тюменской области. ред. Трофимов С.С. Издательство: Наука, 1990 г.
89. Касьянова Л.Н., Азовский М.Г., Мазукабзов А. М. Структура растительности перевиваемых песков острова Ольхон (озеро Байкал) // Бюллетень МОИП, вып. Биол., 2007. - Т. 112, вып. 2. - С. 41-49.
90. Касьянова Л.Н. Состав и структура растительности песчаных пляжей и дюнных песков острова Ольхон (озеро Байкал) // проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. Барнаул: Алтайский государственный университет, 2014. - №13.- с.99-102

91. Катенин А.Е. Принцип классификации растительных сообществ лесотундрового стационара // Почвы и растительность восточноевропейской лесотундры. -: Наука, ч.2, 1972б. – С.105-117.
92. Качинский Н.А. Физика почвы. - М.: Высшая школа, 1965. - 322 с.
93. Классификация почв России / Отв. Ред Л.Л. Шишов, Г.В Добровольский. - М: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева. - 1997. - 235 с.
94. Классификация и диагностика почв России / Авторы и составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с
95. Клевенская И.Л., Таранов С.А., Трофимов С.С., Фаткулин Ф.А. Склоновые процессы техногенных экосистем как фактор почвообразования // Техногенные экосистемы. Организация и функционирование: Сб. ст. / Отв. ред. А.А. Титлянова. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1985. - С. 23-3
96. Климатическая характеристика зоны освоения нефти и газа Тюменского севера. - Омск: Гидрометеиздат, 1982. - 226 с.
97. Козин В.В. Характеристика ландшафтных областей и провинций Ямало-Ненецкого автономного округа // География Ямало-Ненецкого автономного округа. Тюмень, изд-во ТюмГУ, 2001 - С. 306-320
98. Колесников Б.П. Биологическая рекультивация техногенных ландшафтов Арктики и Субарктики//Изучение биогеоценозов тундры и лесотундры. - Л.,1972.- С.50-51.
99. Конищев, В. Н. Древние эоловые формы рельефа в Большеземельской тундре / В. Н. Конищев, Б. П. Любимов // Вестник Московского университета. Сер. География. - 1968. - № 2. - С. 96-99.
100. Конева В.В. Лашинский Н.Н. Сообщества *Cladonia oxneri* Rass. на техногенных раздувах в северной тайге Западной Сибири // TURCZANINOWIA. Барнаул, изд-во Алт.Гу, 2014. - том 17. - № 1. – С. 77-82.
101. Кононов О. Д. О возможности дистанционного мониторинга зарастания геологоразведочных площадок на территории Ненецкого автономного округа / О. Д. Кононов, А. И. Попов // Arctic Environmental Research. 2017. № 1. С. 5-13.

102. Копцева Е.М. Естественное восстановление растительности на техногенных местообитаниях Крайнего Севера (Ямальский сектор Арктики), Дисс. канд. биол. наук: 03.00.05. - Санкт-Петербург, 2005. - 237 с.
103. Корженевский В.В., Квитницкая А.А. Синтаксономия растительности эолового рельефа Крыма // Состояние и перспективы развития ландшафтной архитектуры, интродукции и селекции древесных и цветочно-декоративных растений в Никитском ботаническом саду: сб. науч. трудов ГНБС / Под общ. ред. Ю.В. Плугатаря. - Ялта, 2014. - Т.136. - С. 41-54
104. Коркина Е.А. Почвы и техногенные поверхностные образования нефтегазодобывающего комплекса правобережья Средней Оби // Автореф. канд. геогр. наук. Астрахань, 2005, 24 с
105. Коронатова Н.Г. Развитие почвенно-растительного покрова на песчаных карьерах в северной тайге Западной Сибири. Дисс. канд. биол. наук: 03.00.27. - Новосибирск, 2004. - 164 с.
106. Коронатова Н.Г. Миляева Е.В. Сукцессия фитоценозов при зарастании выработанных карьеров в подзоне северной тайги Западной Сибири//Сибирский экологический журнал, 5, 2011. - с. 697-705
107. Корниенко С. Г. Исследование трансформации растительности в районах Тазовского полуострова по данным космической съемки / С. Г. Корниенко, К. И. Якубсон // Арктика: экология и экономика. № 4. 2011. С. 46-51.
108. Котлов Ф.В. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека / Ф.В. Котлов. – Москва: Недра, 1978. – 263 с.
109. Кошечкин, Б. И. Тундра хранит след: Очерки об исследователях Кольского Севера / Б.И. Кошечкин. - Мурманск : Книжное изд-во, 1979. - 152 с.
110. Краснов, И. И. Результаты изучения четвертичных отложений Большеземельской тундры и Печорской низменности / И. И. Краснов. Бюл. комиссии по изучению четвертичного периода. - 1947. - № 9. - С. 76-79.
111. Кренделев, Ф. П. Барханы и ледяные бугры Чарской котловины / Ф. П. Кренделев // Природа. - 1983. - № 2. - С. 58-66.

112. Крылов П.Н. Флора Западной Сибири. Руководство к определению Западно-Сибирских растений. Вып.1. - М., 1927.- С.138.- Вып.2.- М., 1928.- С.534. - Вып.3. - М., 1929. - С. 731. - Вып.4. - М., 1930.- С. 991. - Вып.6. - М., 1931.- С. 1431.- Вып.7.- М., 1933.- С. 1828. - Вып.8. - М., 1935.- С. 2102. - Вып.9. - М., 1937.- С. 2416. - Вып.10. - М., 1939.- С.2638. - Вып.11- М. 1949.- С. 3094. - Вып.12. - М. 1964. - С.3601.
113. Кулик, Н. А. О песках Печорского края / Н. А. Кулик. Доклады АН СССР. Сер. А. - 1928. - № 9. - С. 156-158.
114. Кулюгина Е.Е. Флора и растительность песчаных обнажений припечорских тунд: Дис. канд. биол. наук: 03.00.05. - М.: РГБ, 2004. - 191 с.
115. Куть А.А. Эолово-Мерзлотные образования (тукуланы) Центральной Якутии: строение, генезис, возраст, закономерности распределения. Дисс. канд. г-м. наук: 25.00.08. - Якутск, 2014. - 218 с.
116. Лазуков Г.И. Четвертичные отложения северо-запада Западно-Сибирской низменности // Труды ВНИГРИ. - 1960. - Вып. 158. - С. 92-116.
117. Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа, 1990. - 351 с.
118. Ландшафты криолитозоны Западно-Сибирской газоносной провинции / Мельников Е.С., Вейсман Л.И., Москаленко Н.Г. и др. - Новосибирск: Наука, 1983 - 264 с.
119. Леонтьев О.К., Рычагов Г.И.Общая геоморфология. – Москва: Издательство Высшая Школа,1979 г., 287 с.
120. Ливеровский Ю. А. О морозном выветривании и почвообразовании в тундре/В кн.: Проблемы советского почвоведения. М.; Л., 1939, вып. 7.
121. Ливеровская И.Т. К географии и генезису почв северо-западной части Западно-Сибирской равнины и прилегающих предгорий Полярного Урала // Природные условия Западной Сибири. М., 1980. - С. 42-51
122. Ливеровская И. Т. Особенности почвообразования на легких породах в Западно-Сибирской тундре и лесотундре // Глобальная тектоника и динамика природных процессов. М., 1984. - С. 83-90.
123. Лиханова И.А., Железнова Г.В. Восстановление растительности на карьерах

- строительных материалов окрестностей г.Сыктывкар при проведении лесной рекультивации//Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т.14, № 1(6), с. 1485-1488
124. Лиханова И.А., Ковалева В.А. Управляемое восстановление лесных экосистем на песчаных техногенных субстратах крайнесеверной тайги Европейского северо-востока России//Вестник Томского университета. Биология.2018. №43. С.174-195
125. Лукин В.В., Толстихин О.Н. Тунгские тукуланы в бассейне реки Вилюй// Наука и техника в Якутии. - Якутск: Изд-во Института мерзлотоведения СО РАН, 2005. - № 1(8), С. 23-29
126. Лукин В.В. Тукуланы - типичные ландшафты центральной Якутии, Автореф. дисс. к-а геогр. наук: 25.00.23 - Иркутск, 2007. - 18 с.
127. Магомедова М.А. Послепожарное восстановление лишайникового покрова на севере Тюменской области // Биологические проблемы Севера. Сыктывкар, 1981. - С.194.
128. Магомедова М.А., Морозова Л.И. Растительный покров // Мониторинг биоты полуострова Ямал в связи с развитием объектов добычи и транспорта газа. Екатеринбург, 1997. С. 11-99
129. Марков К.К. Древние материковые дюны Евразии. - «Природа», 1928, № 6-9.
130. Матвеева Н.В. Растительность окрестностей Таймырского биогеоценологического стационара // Структура и функции биогеоценозов Таймырской тундры. – Л.: Наука, 1978. – С. 72-113.
131. Матвеева Н.В. Принципы классификации растительности тундровой зоны (на полуострове Таймыр) // Сообщества Крайнего Севера и человек. – М.: Наука, 1985. – С.56-79.
132. Матышак Г.В. Особенности формирования почв севера Западной Сибири в условиях криогенеза. Дисс. канд. б. наук: 03.00.27. - Москва, 2009. - 151 с.
133. Махонина Г.И., Коркина И.Н. Формирование подзолистых почв на археологических памятниках в Западной Сибири. Академкнига, 2002 г., 267 – с.

134. Медко В.В. Рекультивация карьеров и защита грунтов от эрозии на Крайнем севере (на примере газоконденсатного месторождения Медвежье), Дисс. канд. т. наук: 25.00.08. - Москва, 2004. - 240 с.
135. Мельцер Л.И., Московченко Д.В. Экологическое картирование и карты устойчивости экосистем II Материалы 3 Междунар. конф. «Освоение Севера и проблемы рекультивации», Сыктывкар, 1996, с. 115 -11
136. Миркин Б.М., Наумова Л.Г., Соломещ А.И. Современная наука о растительности. - Москва: Логос, 2001, 264 с.
137. Миронова С.И. Техногенные сукцессионные системы растительности Якутии (на примере Западной и Южной Якутии). - Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000, 152 с.
138. Морозова Л.М., Эктова С.Н. Опустынивание тундровых экосистем полуострова Ямал. Материалы региональной научной конференции «Мамаевские чтения», Екатеринбург, 2012, с. 110-114.
139. Москаленко Н.Г., Ястреба Н.В. Исследование динамики растительного покрова, нарушенного техногенным воздействием / Биогеографические аспекты природопользования: вопросы геофизики, Сб. № 114. - М.: 1980.- С . 144-164.
140. Москаленко Н.Г. Антропогенная динамика растительного покрова Севера Западной Сибири: Автореф. д и с... докт. геогр. наук. - М.: МГУ, 1991 .- 44 с.
141. Москаленко Н.Г. Изменения криогенных ландшафтов северной тайги Западной Сибири в условиях меняющегося климата и техногенеза // Криосфера Земли , 2012, т. XVI, №2, С. 38-42.
142. Москаленко Н.Г. Антропогенная динамика растительности равнин криолитозоны России. - Новосибирск, 1999.- 280 с Москаленко, 2009
143. Муравьев А.Г., Каррыев Б.Б., Ляндзберг А.Р. Оценка экологического состояния почвы. Практическое руководство. /Под ред. К.х.н. А.Г.Муравьева. Изд 2-е, перераб. И дополн. – СПб.: Крисмас+, 2008. -216 с
144. Мякушко В.К., Вольвач Ф.В., Плюта П.Г. Экология сосновых лесов. Киев: Урожай, 1989. 248 с.

145. Национальный атлас почв Российской Федерации. Главный редактор чл.-корр. РАН С.А. Шоба. М.: Астрель: АСТ, 2011. 632 с.
146. Научно-прикладной справочник по климату СССР, серия 3, выпуск 17, «Тюменская и Омская области». Гидрометеиздат, Санкт-Петербург, 1998. 703 с.
147. Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир. 1975. 740 с.
148. Олюнин В.Н. Происхождение рельефа возрожденных гор. -М.: Наука, 1978. -276 с.
149. Павлов П.Д. Географическое распространение эоловых песков в Центральной Якутии // Эоловые образования Центральной Якутии. - Якутск: Институт мерзлотоведения СО АН СССР, 1981. - С. 18-30.
150. Паянская-Гвоздева И.И. Структура растительного покрова северной тайги Кольского полуострова. – Л.: АН СССР, 1990.- 110 с.
151. Перельман А.И. Геохимия ландшафтов. -М.: Высш.шк., 1966
152. Полевая геоботаника // т. 3. - М -Л.: Наука, 1964. - 530 с. - Т.4. - М-Л.: Наука, 1972. - 336 с. - Т.5 - М-Л.: Наука, 1976. - 320 с.
153. Польшов Б.Б. Приднепровские и придонские пески как материал для послеледниковой истории черноземно-степной полосы //Изв. Почв. ком. -М., 1914. -№1. -С.3-25.
154. Польшов Б.Б. Пески Донской области, их почвы и ландшафты, «Труды Почвенного ин-та им. В. В. Докучаева», 1926, вып. 1.
155. Пристяжнюк С.А. Восстановление кустарничково-мохово-лишайниковых сообществ на песчаных раздувах в Ямальских тундрах // Освоение Севера и проблемы рекультивации: Докл. III междунар. конф. Сыктывкар, 1997. С. 142-146.
156. Проскурякова О.Б. Закономерности восстановления продуцентов нарушенных экосистем севера Западной Сибири. Дисс. канд. б. наук: 03.00.16. - Тюмень, 2002. - 240 с.
157. Работнов Т.А. Фитоценология. М.: Изд-во МГУ. 1978. 384 с.
158. Раменский Л.Г. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель. М.: Сельхозгиз, 1938. 620с.
159. Раменский Л.Г. Избранные труды. Л.: Наука. 1971. 334 с.

160. Раменский Л.Г., Цаценкин И.А., Чижиков О.Н., Антипин Н.А. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М.: Сельхозгиз. 1956. 472 с.
161. Ребристая О.В. Хитун О.В. Ботанико-географические особенности флоры Центрального Ямала//Бот.жур.1998. Т. 83. №7. С. 37-52
162. Ребристая О.В. Флора востока Большеземельской тундры. – Л.: Наука, 1977. – 377 с.
163. Рельеф Западно-Сибирской равнины / Земцов А.А., Мизеров Б.В., Николаев В. А. и др. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. - 192 с.
164. Романова Е.А. Краткая ландшафтно-морфологическая характеристика болот Западно-Сибирской низменности. - Тр. ГГИ, 1965, - Вып. 126, - С. 96-112.
165. Рыбникова И.Е. Анализ проекта рекультивации нарушенных земель восточно-уренгойского месторождения на территории ЯНАО//Мир инноваций. Изд. Государственный аграрный университет Северного Зауралья.Тюмень, 2018, №1-2, с.74-82.
166. Рычагов Г.И. Общая геоморфология: учебник для студ. Вузов, обуч. по геогр. специальностям / Г.И. Рычагов. – М.: Изд. Московского университета: Наука, 2006. – 415 с.
167. Сажин А.Н., Васильев Ю.И., Чичагов В.П., Ларионов Г.А. эоловый морфогенез и современный климат Евразии (ст. 1. Динамика атмосферы, блокирующие и эоловые процессы)// Геоморфология. Изд. Российская академия наук. Москва, 2012, -№3, с.10а-20.
168. Самсонова В.В., Васильев И.С. Климатические предпосылки образования современных природных дюн на реке Лене // География и природные ресурсы. - Якутск: Изд-во Института мерзлотоведения СО РАН, 2000. - Вып. 1. - С. 94-99.
169. Седых В.Н. Леса и нефтегазовый комплекс. Новосибирск: Наука. 2011. 138 с.
170. Семенов О.Е., Эоловые формы рельефа и их перемещение ветром. //Гидрометеорология и экология. Республиканское Государственное Предприятие

на правах хозяйственной деятельности Казгидромет -Алматы, 2014. - №3.- с. 7-33

171. Серебряков И.Г. Учение о жизненных формах растений на современном этапе // Ботаника, Т. 1. - М.: 1992. - С. 84-169.

172. Серебряков И.Г. Экологическая морфология растений. М.: Высшая школа, 1962. 378с.

173. Сизов О.С. Геоэкологические аспекты современных эоловых процессов северо-таежной подзоны Западной Сибири. // Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук, Барнаул, 2008. С. 140

174. Сизов О.С. Геоэкологические аспекты современных эоловых процессов северотаежной подзоны Западной Сибири. Новосибирск: «Гео», 2015, 124 с.

175. Сизов О.С., Лоботросова С.А. Особенности восстановления растительности в пределах участков развеваемых песков северотаежной подзоны Западной Сибири // Криосфера Земли, 2016, т. XX, № 3, С. 3-13.

176. Сильвестров В.Н. Пояснительная записка к карте четвертичных отложений Томской области масштаба 1:500000 (тема 55). - Томск, 1997. - 91 с.

177. Смирнова О.В. Популяционная организация биоценотического покрова лесных ландшафтов // Успехи современной биологии. Т. 118. – 1998, № 2. – С. 148-165.

178. Смоленцев Б.А. Структура почвенного покрова Сибирских Увалов (северотаежная подзона Западной Сибири). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 112 с.

179. Солодовников А.И. Хозяйственная деятельность как фактор воздействия на окружающую среду в регионах добычи нефти и газа (оценка и принятие управленческих решений) - Автореф. дисс. д-ра геогр. наук: 25.00.24 - СПб, 2007. - 48 с.

180. Соромотин А.В., Сизов О.С. Активизация эоловых процессов на севере Западной Сибири в связи с возросшим антропогенным воздействием // Проблемы Региональной Экологии, - № 4, - М., 2007. - С.12-15.

181. Соромотин А.В. Техногенная трансформация природных экосистем таежной зоны в процессе нефтегазодобычи (на примере Тюменской области). - Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук: 03.00.16 - Тюмень, 2007. - 48 с.
182. Соромотин А.В., Бродт Л.В. Мониторинг растительного покрова при освоении нефтегазовых месторождений по данным многозональной съемки LANDSAT// Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2018. Том 4. № 1. С. 37-49
183. Сорокин Н.Д. Рекультивация нарушенных и загрязненных земель. - Санкт-Петербург:Интеграл. -216. -400с.
184. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. - Новосибирск: Наука. - 1978. - 319 с.
185. Справочник по климату СССР, вып 17, ч. II, III, IV. - Л.: Гидрометеиздат, 1968
186. Сукачев В.Н. Главнейшие понятия изучения о растительном покрове // Растительность СССР. Москва; Ленинград, 1938. Т. 1. С. 15-37.
187. Сумина О.И. К анализу разнообразия растительности карьеров (На примере карьеров севера Западной Сибири) // Освоение севера и проблемы рекультивации: Докл. III междунар. конф. 27-31 мая 1997 г. - Сыктывкар, 1997, - С. 76-87.
188. Сумина О.И. Формирование растительности на техногенных местообитаниях Крайнего Севера России. Дисс. докт. б. наук: 03.02.01. - Санкт-Петербург, 2011. - 540 с.
189. Таргульян В.О., Караваева Н.А. Опыт почвенно-геохимического разделения полярных областей. - в кн.: Проблемы Севера (природа), вып. 8. М.-Л., 1964
190. Телятников М.Ю., Пристяжнюк С.А. Естественное восстановление растительного покрова Ямальской тундры после антропогенных нарушений // Сиб. экол. журн., 1995. № 6. С. 540-548.

191. Творогов В.А. Естественное зарастание нарушенных участков тундры в районе Ямбургского газоконденсатного месторождения (полуостров Тазовский) // Ботан. журн., 1988. Т. 73, № II. С. 1577-1583.
192. Тигеев А.А. Особенности почвенного покрова бассейна реки Хыльмигьяха (Надым-Пуровское междуречье) // Вестник Тюменского государственного университета. Социально-экономические и правовые исследования. 2014. №4. С. 39-48
193. Толмачёв А.И. Введение в географию растений. – Л.: Наука, 1974. – 244с.
194. Тонконогов В.Д. Почвенный покров // Ямало-Гыданская область: Физико-географическая характеристика. Л., 1977.
195. Тонконогов В.Д. О генезисе почв с осветленным элювиальным горизонтом // Почвоведение. - 1996. - №5. - С. 564-569.
196. Тыртиков А.П. Динамика растительного покрова северной тайги Западной Сибири и вечная мерзлота // Природные условия Западной Сибири. -М. Изд-во МГУ, 1971. -Вып.1.-С.124-135
197. Тюрин В.Н. Основные закономерности восстановления растительного покрова на Севере Западной Сибири и их биологическая рекультивация // Проблемы географии Западной Сибири. Вып. 2. - Тюмень: ТГУ, 1993. - С. 144-152.
198. Тюменцева Е.М. Ландшафтообразующая роль ветра на западном побережье озера Байкал // География и природные ресурсы. - Н.: Изд.ГЕО, 2009. - №3. - с. 61-68
199. Федорович Б.А. Динамика и закономерности рельефообразования пустынь. М.: Наука, 1983.
200. Физико-географическое районирование Тюменской области / Под ред. Н.А. Гвоздецкого. - М: Изд-во МГУ, 1973. - 246 с.
201. Филиппова Л.Н. Виды трав, пригодные для ускоренного залужения лесотундры и особенности их биологии // Растительность лесотундры и пути ее освоения. Вып. 7. - Л.: Наука, 1967. - С. 279-290.
202. Флора Сибири / Т.1 - Новосибирск: Наука, 1988. - 200 с. - Т.2- Н Новосибирск: Наука, 1990. - 361 с. - Т. 3 - Новосибирск: Наука, 1990. - 270 с.- Т.4 -

- Новосибирск: Наука, 1987. - 248 с. - Т.5 - Новосибирск: Наука, 1992. - 312 с. - Т.6 - Новосибирск: Наука, 1993. - 310 с. - Т.8 - Новосибирск: Наука, 1988 - 200 с.- Т.9 - Новосибирск: Наука, 1994. - 280 с. -Т. 10 - Новосибирск: Наука, 1996. - 254 с. - Т.11 - Новосибирск: Наука, 1997. - 296 с. - Т. 12 - Новосибирск: Наука, 1996. - 208 с. - Т. 13 - Новосибирск: Наука, 1997. - 472 с.
203. Хабаров А.В. Почвообразование на песках юго-востока Русской равнины. - М., 1977.
204. Хантимер И.С. Пути повышения продуктивности лугов поймы реки Усы в лесотундре Коми АССР // Растительность лесотундры и пути ее освоения. Вып. 7. - JL: Наука, 1967. - С. 291-296.
205. Хантимер И.С. Залужение — основа обеспечения кормами молочного животноводства // Сообщества Крайнего Севера и человек.-М.: Наука, 1985. — С. 115-133.
206. Хлебников В.И., Ильина З.И., Миляева Л.С. Отчет партии №5 о геологической и геоморфологической съемке части бассейна среднего течения р. Надым. ВСЕГЕИ, Ленинград, 1954 г. - 190 С.
207. Хренов В.Я. Почвы Тюменской области: Словарь-справочник. - Екатеринбург: УрО РАН, 2002. - 156 с.
208. Хренов В.Я. Почвы криолитозоны Западной Сибири: морфология, физико-химические свойства, геохимия / В. Я. Хренов; отв. ред. Н. Г. Москаленко. - Новосибирск: Наука, 2011. - 96 с.
209. Хусаинов А.Ф. Синтаксономия и антропогенная динамика растительности месторождения «Медвежье»: Автореф. дисс. канд. биол. наук. - Уфа, 1996. - 16 с.
210. Чекунова В.С., Миронов Ю.И., Медведникова Я.А Отчет партии № 1 о геологической и геоморфологической съемке части бассейна нижнего течения р.Надым и части правобережья р.Надымская Обь в 1953 г. ВСЕГЕИ, Ленинград, 1954 г. - 239 С.
211. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельны х государств (в пределах бывшего СССР). - СПб.: 1995. - 990 с.

212. Черепанов А.С. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы / А. С. Черепанов, Е. Г. Дружинина // Геоматика № 3. 2009. Москва: Совзонд, 2009. С. 28-32.
213. Чернявский Е.А. Технология разработки и рекультивации карьеров песка в Западной Сибири (на примере Термокарстового газоконденсатного месторождения)//Приволжский научный вестник.№3(19)-2013.С.20-27.
214. Чернявский Е.А., Луговской А.М., Гребенюк Г.Н. Особенности формирования природно-технических систем на территории карьеров по добыче песка в условиях таежной зоны Западной Сибири//Проблемы региональной экологии. №2, 2015.С. 38-41.
215. Чичагов В.П. Всюдность и уникальность эолового рельефообразования // Проблемы устойчивого развития в современной географической науке и образовании. - Томск, 2004. - С. 29-40.
216. Чичагов В.П. Дефляционная денудация семиаридных областей // Эрозиоведение: теория, эксперимент, практика. М.: Изд-во МГУ, 1991. С. 164-165.
217. Шарая Л. С. Прогнозное картографирование лесных экосистем (ландшафтно- экологический подход) / Л. С. Шарая // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. № 3. С.38-47.
218. Шенников А.П. Введение в геоботанику. – Л.: ЛГУ, 1964, 477 с.
219. Шилова, И.И. Техногенные пески и их рекультивация / И.И. 145 Шилова, Э.Б. Терехова, А.И. Лукьянец // Растения и промышленная среда: сб. науч. тр. - Свердловск: УрГУ, 1980. - С. 131-145
220. Шилова И.М. Первичные сукцессии растительности на техногенных песчаных обнажениях в нефтегазодобывающих районах среднего Приобья // Экология, 1977. № 6. С. 5-14
221. Шубаев Л.П. Геоморфологический очерк бассейна р. Торм-Яуп и водораздела с р. Надымом. // Уч. зап. Ленинградского пединститута им. Герцена, т. 73, 1948.

222. Щеглов Д.И., Громовик А.И. Основы геоморфологии: учебное пособие/ Воронежский государственный университет. – Воронеж: Издательство дом ВГУ, 2017. – 178 с.
223. Эктова С. Н., Ермохина К. А. Растительность песчаных обнажений северных субарктических тундр Центрального Ямала // Известия Самарского НЦ РАН. 2012.Т. 14. № 1(5). С. 1412-1415.
224. Юрцев Б.А., Толмачев А.И., Ребристая О.В. Флористическое ограничение и разделение Арктики // Арктическая флористическая область. - Л.: Наука, 1978.- С . 9-104.
225. Ярошенко П.Д. Геоботаника. – М.: Просвещение, 1969. – 200 с.
226. Allen, L., D. Hunter, W. Nordstrom, D. Vujnovic. 2003. Richardson River Dunes Wildland Provincial Park - A Synthesis of Biophysical Information. A report prepared for Parks and Protected Areas Division, Alberta Community Development, Edmonton, Alberta. 35pp.
227. Aarde, R. J. Successional changes in rehabilitating coastal dune communities in northern KwaZulu / R. J. Aarde, S. M. Ferreira, J. J. Kritzinger // Landscape a. Urban Planning. - 1996. - Vol. 34. - P. 277-286.
228. Begon M., Harper J.L., Townsend C.R. Ecology: Individuals, population and communities / 3rd ed. – Oxford: Blackwell Sci, 1996. – 1068 p.
229. Bradshaw A.D. The biology of land restoration // Appl. Popul. Biol. -Dordrecht etc., 1992. - P.25-44.
230. Brooks D.R. 2000. The nature of organism. Life has a life of its own // Ann.N.Y. Acad. Sci. – 2000, Vol. 901. – P. 257-265.
231. Cater T., Jorgenson T, Bishop S. and Rea C. Erosion, 2007: Control and Restoration of a Sand Dune on the Colville River Delta, Northern Alaska. // Ecological Restoration, Vol. 25, No. 4. (December 2007), pp. 238-246.
232. Clements F.E. Plant succession. An analysis of the development of vegetation // Washington: Carnegie Inst. Wash. Publ. – 1916, № 242. – P. 1-512.
233. Cole, K. L. Past and current trend of change in a dune prairie/oak savanna reconstructed through a multiple-scale history / K. L. Cole, R. S. Taylor // J. of

Vegetation Science. - 1995. - № 3. - P. 399-410.

234. Densmore Rose-Ann V. Succession on an Alaskan tundra disturbance with and without assisted revegetation with grass // Arctic and Alpine Research, 1992. - V.24, № 3, - P. 238-243.

235. Jonker, P.M. and J.S. Rowe. 2001. The sand dunes of Lake Athabasca. University Extension Press, Saskatoon, Saskatchewan. 194 pp.

236. Hesse, P. P. Variable vegetation cover and episodic sand movement on longitudinal desert sand dunes / P. P. Hesse, R. L. Simpson // Geomorphology. - 2006. - Vol. 81. - P. 276-291.

237. Klemsdal, T. Aeolian Forms in Parts of Norway / T. Klemsdal // Norsk Geografisk Tidsskrift. - 1969. - №23. - P. 49-66.

238. Kuiters, A. T. Plant diversity, species turnover and shifts in functional traits in coastal dune vegetation: results from permanent plots over a 52-year period / A. T. Kuiters, K. Kramer, H. G. J. M Van der Hagen, J. H. J Schaminée // J. of Vegetation Science. - 2009. - Vol. 20, № 6. - P. 1053-1063.

239. The Ecotourism Society Fact Sheet Collection, 1997. North Bennington, USA.

240. The Lichens of Saskatchewan, Canada. Provincial list // <http://www.biodiversity.sk.ca/Docs/lichens.pdf>

241. Thomas, D.S.G.; Wiggs, G.F.S. Aeolian system responses to global change: Challenges of scale, process and temporal integration. Earth Surf. Process. Landf. 2008, 33, 1396–1418. [Google Scholar] [CrossRef]

242. Rouse J. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS / J. W. Rouse, R. H. Hass, J. A. Schell, D. W. Deering // Proceedings of the third ERTS symposium, Goddard Space Flight Center, December 1973, NASA SP-351. Pp. 309-317. Washington DC: NASA, 1973.

243. USGS EarthExplorer — U.S. Geological Survey // USGS EarthExplorer. URL: <http://earthexplorer.usgs.gov> (Accessed on May 18, 2016).

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Таблица к рисунку 1. Типы ландшафтов

Тип местности	Вид урочища
I. Террасовый северотаежный	I.1 Пологоволнистые дренированные водораздельные поверхности, занятые лиственнично-березовыми и елово-березово-лиственничными лишайниковыми и зеленомошными редкостойными лесами на подзолах глеевых иллювиально-железистых
	I.2 Плоские дренированные водораздельные поверхности, занятые редкостойными лишайниковыми сосновыми лесами на подзолах иллювиально-железистых языковатых
II Надпойменно-террасовый дренированный	II.1 Плосковолнистые слабодренированные пойменные поверхности крупнобугристых болот, занятые багульниково-ерниково-лишайниковыми растительными сообществами на торфяно-подзолах и криоземах криотурбированных по буграм и осоково-сфагновыми сообществами мочажин с обилием озер и озерков на торфяно болотных почвах
III Надпойменно-террасовый болотный	III.1 Плосковолнистые пойменные поверхности болот, занятые ерниково-сфагново-лишайниковыми сообществами бугров на торфяно-криоземах в сочетании с осоково-сфагновыми и пушицево-сфагновыми сообществами мочажин на торфяно-болотных почвах
IV Пойменный	IV.1 Плоские слабодренированные поймы крупных рек, занятые ивняково-березовыми лесами на аллювиальных дерновых почвах
V Мелкодолинный	V.1 Узкие слабоврезанные долины малых рек, занятые ивняково-березовыми травяно-моховыми лесами на аллювиальных болотных почвах
VI Денудационно-эоловый	VI.1 Волнистые дренированные поверхности второй надпойменной террасы, занятые природными песчаными раздувами с угнетенными травяными растительными сообществами
VII Антропогенный	VII.1 Территории, занятые автодорогами, трубопроводами, линиями электропередач, а также площадными объектами промышленной и рекреационной инфраструктуры, характеризующиеся значительным уничтожением или деградацией растительного и почвенного покрова, а также отсыпкой грунта.

Геоботаническое описание пижмово-овсяницевого фитоценоза

Дата 10.08.2017.

Местоположение. Надымский район. Координаты 72°58'13,47»В 65°21'13,506»С

Название фитоценоза. формирующийся вейниково-овсяницевый фитоценоз на месте вершины дюны песчаного раздува.

Рельеф, почвы. Плоская и слабонаклонная поверхность, грунт - песок.

Увлажнение. Недостаточное.

Общее проективное покрытие. 20-30 %.

Ярусность. 1 ярус: травяной, два подъяруса: верхний подъярус – пижма дваждыперистая, овсяница Овечья, вейник Лангсдорфа; нижний ярус состоит из шавеля (7-15 см)

№ п/п	Название растений	Фенофаза	Обилие в %	Примечание
1.	<i>Calamagrostis langsdorffii</i>	пл.	10-15	
2	<i>Festuca ovina</i>	пл.	15-25	
3	<i>Tanacetum bippinatum</i>	цв.	ед-но	
4	<i>Hieracium umbellatum</i> L. s.l.	цв.	ед-но	
5	<i>Betula tortuosa</i>	вег.	ед-но	0,7-1,5м
6	<i>Rumex graminifolius</i>	вег., цв.	ед-но	
7	<i>Larix sibirica</i>	отмирание	ед-но	

Примечание: пл. – плодоносит, вег. – вегетирует, цв. – цветет.

Список видов и степень проективного покрытия растительности, отмеченных при обследовании пробных площадей пижмово-овсяницевого фитоценоза.

Проективное покрытие, %	30	15	20	18	25	15	20	12	10	8
Число видов	4	3	4	4	3	3	5	2	3	3
Номер описания табличный	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вейник Лангсдорфа (<i>Calamagrostis langsdorffii</i>)	+	+		+			+			+
Овсяница овечья (<i>Festuca ovina</i>)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Пижма дваждыперистая (<i>Tanacetum bippinatum</i>)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ястребинка (<i>Hieracium umbellatum</i>)					+		+			
Береза извилистая (<i>Betula tortuosa</i>)						+				
Щавель злаколистный (<i>Rumex graminifolius</i>)	+		+	+			+		+	
Лиственница сибирская (<i>Larix sibirica</i>)			+							

Показатели коэффициентов сходства видового состава пижмово-овсянищевого фитоценоза.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-	50	75	100	34	40	50	50	75	50
2	67	-	75	75	60	40	50	50	50	100
3	86	86	-	75	50	60	67	75	75	75
4	100	86	75	-	50	60	67	75	75	75
5	50	75	67	67	-	34	58	34	34	60
6	86	58	75	67	45	-	67	75	40	40
7	67	67	80	80	80	80	-	50	50	50
8	67	25	58	86	50	86	67	-	50	20
9	86	67	86	86	50	58	67	67	-	50
10	67	100	86	86	75	58	67	67	67	-

Примечание: В верхней правой половине указаны показатели сходства-различия, рассчитанные по формуле Жаккара; в нижней левой половине указаны показатели сходства-различия, рассчитанные по формуле Чекановского-Сёренсена

Геоботаническое описание овсянищево-вейникового фитоценоза

Дата 10.08.2017.

Местоположение. Надымский район. Координаты 72°58'1,626»В 65°21'5,4»С

Название фитоценоза. формирующийся овсянище-вейниковый фитоценоз на месте подветренного склона дюны песчаного раздува.

Рельеф, почвы. Слабонаклонная поверхность, грунт - песок.

Увлажнение. Недостаточное.

Общее проективное покрытие. 30-35 %.

Ярусность. 1 ярус: травяной, два подъяруса: верхний подъярус - вейник Лангсдорфа, овсяница Овечья, ястребинка, золотая розга (30-70 см); нижний ярус состоит из шавеля, пижмы (10-30 см)

№ п/п	Название растений	Фенофаза	Обилие в %	Примечание
1.	<i>Calamagrostis langsdorffii</i>	пл.	20-25	
2	<i>Festuca ovina</i>	пл.	5-7	
3	<i>Tanacetum bippinatum</i>	цв.	10-15	
4	<i>Hieracium umbellatum</i>	цв.	2-4	
5	<i>Betula tortuosa</i>	вег.	ед-но	1,2-2,5м
6	<i>Rumex graminifolius</i>	вег., цв.	2-5	
7	<i>Solidago virgaurea</i>	цв.	ед-но	
8	<i>Salix viminalis</i>	вег.	ед-но	0,8-1,2
9	<i>Pinus sibirica</i>	вег.	ед-но	0,1-0,2

Примечание: пл. – плодоносит, вег. – вегетирует, цв. – цветет.

Список видов и степень проективного покрытия растительности,
отмеченных при обследовании пробных площадей овсяницево-вейникового
фитоценоза.

Проективное покрытие, %	12	35	20	35	18	10	18	20	10	17
Число видов	5	5	4	7	6	3	5	5	2	5
Номер описания табличный	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вейник Лангсдорфа (<i>Calamagrostis langsdorffii</i>)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Овсяница овечья (<i>Festuca ovina</i>)		+	+	+	+	+	+	+		+
Пижма дваждыперистая (<i>Tanacetum bipinnatum</i>)	+		+			+		+		
Ястребинка (<i>Hieracium umbellatum</i>)	+		+	+	+		+			+
Сосна обыкновенная (<i>Pinus silvestris</i>)					+					
Береза извилистая (<i>Betula tortuosa</i>)	+			+	+		+			
Щавель злаколистный (<i>Rumex graminifolius</i>)								+		+
Золотая розга (<i>Solidago virgaurea</i>)		+		+				+		+
Ива прутовидная (<i>Salix viminalis</i>)		+		+		+				
Сосна сибирская (<i>Pinus sibirica</i>)										

Показатели коэффициентов сходства видового состава овсяницево-вейникового
фитоценоза в %.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-	67	80	72	84	60	84	80	40	67
2	80	-	80	72	58	60	67	67	40	67
3	89	89	-	58	67	75	80	80	50	80
4	84	67	73	-	63	43	72	50	29	50
5	91	73	80	83	-	50	84	58	34	58
6	75	75	86	60	67	-	60	60	67	60
7	89	80	89	84	91	75	-	67	40	67
8	80	80	89	67	73	75	80	-	40	67
9	58	45	67	45	50	80	58	58	-	40
10	80	80	89	67	73	75	80	80	58	-

Примечание: В верхней правой половине указаны показатели сходства-различия, рассчитанные по формуле Жаккара; в нижней левой половине указаны показатели сходства-различия, рассчитанные по формуле Чекановского-Сёренсена.

Геоботаническое описание овсянице-политрихового фитоценоза

Дата 10.08.2017.

Местоположение. Надымский район. Координаты 72°57'59,5»В 65°21'20,5»С

Название фитоценоза. формирующийся овсянице-моховый фитоценоз на месте котловин между дюнами песчаного раздува.

Рельеф, почвы. Слабонаклонная поверхность, грунт – песок, супесь.

Увлажнение. Достаточное.

Общее проективное покрытие. 5-10 %.

Ярусность. 1 ярус: травяной, два подъяруса: верхний подъярус (20-40 см) - вейник Лангсдорфа, овсяница Овечья, ястребинка, щавель злаколистный; нижний ярус состоит из политрихума торчащего (2-5 см)

№ п/п	Название растений	Фенофаза	Обилие в %	Примечание
1.	<i>Calamagrostis langsdorffii</i>	пл.	2-3	
2	<i>Festuca ovina</i>	пл.	5-7	
3	<i>Hieracium umbellatum</i>	цв.	ед-но	
4	<i>Rumex graminifolius</i>	вег., цв.	ед-но	
5	<i>Polytrichum strictum</i>	-	5-10	
6	<i>Cladonia stellaris</i>	-	5-7	
7	<i>Pinus sylvestris</i>	вег.	0,4-0,5	
8	<i>Pinus sibirica</i>	вег.	0,1-0,2	

Примечание: пл. – плодоносит, вег. – вегетирует, цв. – цветет.

Список видов и степень проективного покрытия растительности, отмеченных при обследовании пробных площадей овсяницево-политрихового фитоценоза.

Проективное покрытие, %	10	7	4	12	15	6	5	2	8	5
Число видов	3	4	3	6	5	4	4	2	6	2
Номер описания табличный	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вейник Лангсдорфа (<i>Calamagrostis langsdorffii</i>)	+			+					+	
Овсяница овечья (<i>Festuca ovina</i>)	+	+	+	+	+	+		+	+	
Ястребинка (<i>Hieracium umbellatum</i> L. s.l.)				+	+				+	
Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i>)				+			+			
Сосна сибирская (<i>Pinus sibirica</i>)		+			+					
Политрихум торчащий (<i>Polytrichum strictum</i>)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Щавель злаколистный (<i>Rumex graminifolius</i>)	+				+		+		+	
Кладония звёздчатая (<i>Cladonia stellaris</i>)	+		+	+			+			+

Показатели коэффициентов сходства видового состава овсяницево-политрихового фитоценоза в %.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-	75	50	50	60	75	75	67	50	67
2	86	-	40	67	80	34	60	50	43	50
3	67	58	-	29	34	40	40	25	29	25
4	67	80	45	-	84	67	43	34	50	34
5	75	89	50	91	-	80	50	40	38	40
6	86	75	58	80	89	-	60	50	43	50
7	86	75	58	60	67	75	-	50	43	50
8	80	67	40	34	58	67	67	-	34	34
9	67	60	45	34	55	60	60	50	-	34
10	80	67	40	50	58	67	67	50	50	-

Примечание: в верхней правой половине указаны показатели сходства-различия, рассчитанные по формуле Жаккара; в нижней левой половине указаны показатели сходства-различия, рассчитанные по формуле Чекановского-Сёренсена.

Геоботаническое описание лишайниково-мохового-кустарничкового соснового леса на месте «Анклава»

Дата 02.08.2018.

Местоположение. Надымский район. Координаты 65.355919 с.ш., 72.958757 в.д.

Название фитоценоза. формирующийся сосновый лес с лиственницей и березой, на месте песчаного раздува.

Рельеф, почвы. Плоская и слабонаклонная поверхность, грунт - песок.

Увлажнение. Недостаточное.

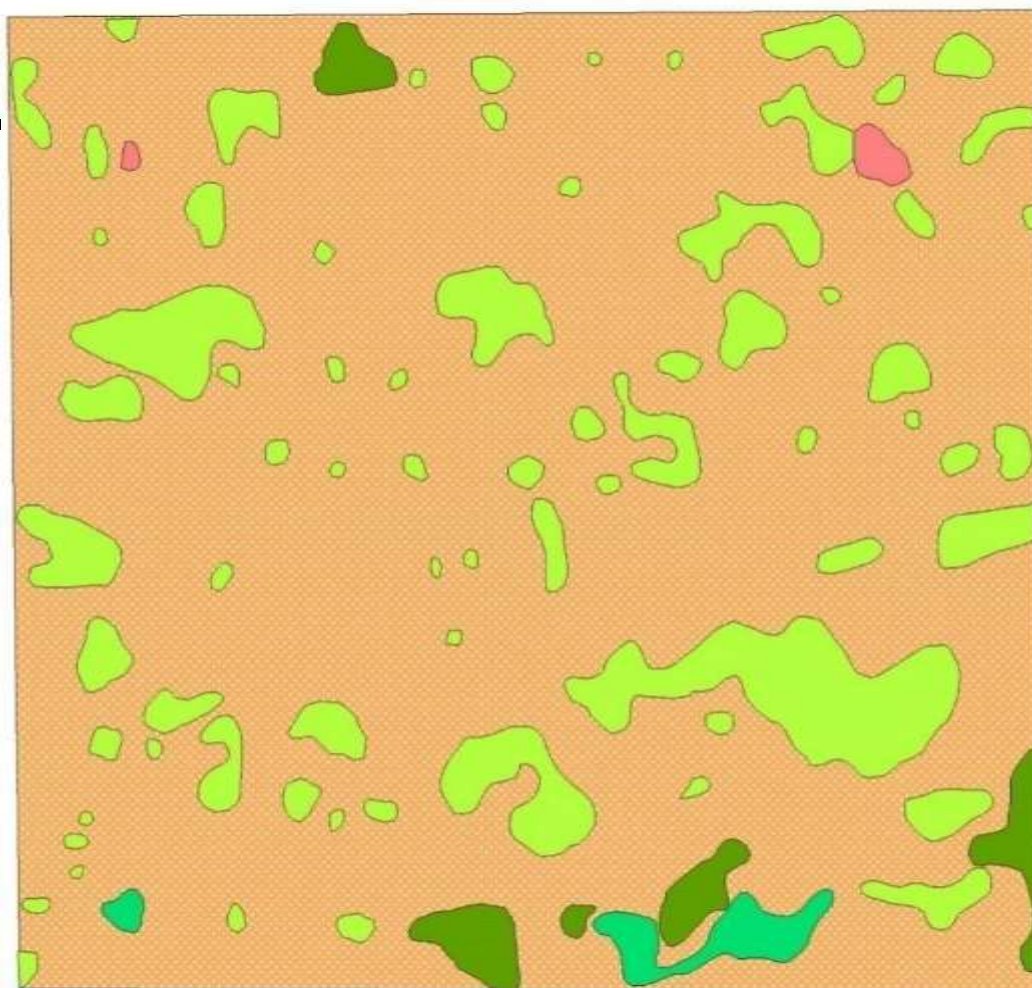
Общее проективное покрытие. 60-70 %.

Ярусность. 3 яруса: травяной, кустарничковый и древесный.

Видовой состав: № п/п	Название растений	Фенофаза	Обилие в %	Примечание
1.	<i>Pinus sylvestris</i>	вег.	ед-но	3-6 м
2.	<i>Larix sibirica</i>	вег.	ед-но	3-6 м
3.	<i>Betula tortuosa</i>	вег.	ед-но	2-3 м
4.	<i>Festuca ovina</i>	вег., пл.	10-15	
5.	<i>Tanacetum bipinnatum</i>	вег., цв.	4-5	
6.	<i>Solidago virgaurea</i>	цв.	1	
7.	<i>Hieracium umbellatum</i>	цв.	менее 1	по склону песчаной дюны
8.	<i>Calamagrostis epigeios</i>	цв.	менее 1	обилие достигает 15%
9.	<i>Empetrum nigrum</i>	пл.	1	
10.	<i>Ledum palustre</i>	пл.	менее 1	гр.
11.	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	вег.	менее 1	по краю сообщества
12.	<i>Polytrichum juniperinum</i>	-	-	
13.	<i>Polytrichum strictum</i>	-	30	гр.
14.	<i>Alectoria ochroleuca</i>	-	50	
15.	<i>Cladonia rangiferina</i>	-	15	
16.	<i>Cladonia stellaris</i>		5	гр.
17.	<i>Parmelia sulcata</i>			
18.	<i>Cladonia alpina</i>			

Примечание: пл. — плодоносит, вег. — вегетирует, цв. — цветет.

Карта-схема растительного покрова геоботанической площадки, расположенной в южной части песчаного раздува.
2013 год

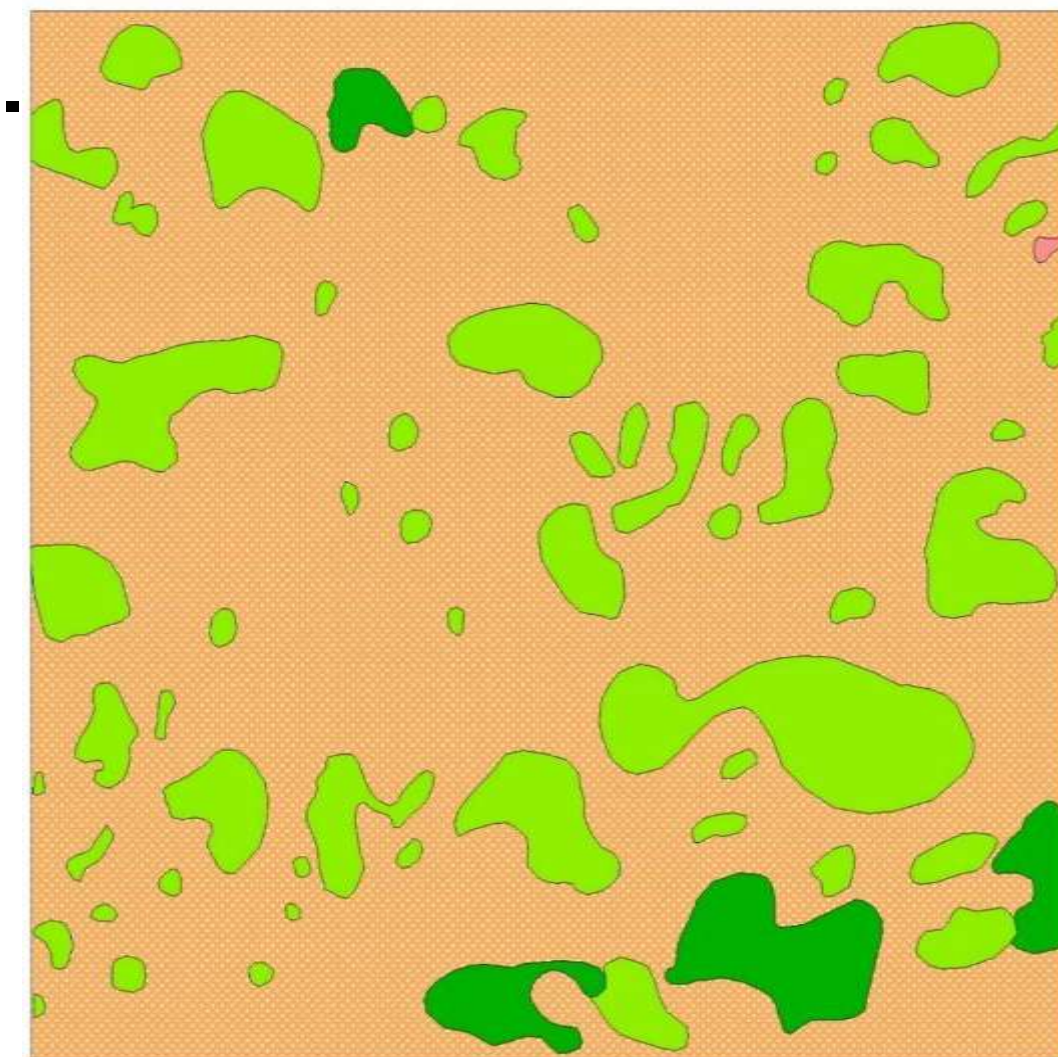


М 1:5 000

Условные обозначения	
	Arena
	Fesovi, Callan
	Callan
	Fesovi
	Rumgra

Карты растительного покрова геоботанической площадки, расположенной в южной части песчаного раздува.

2014 год

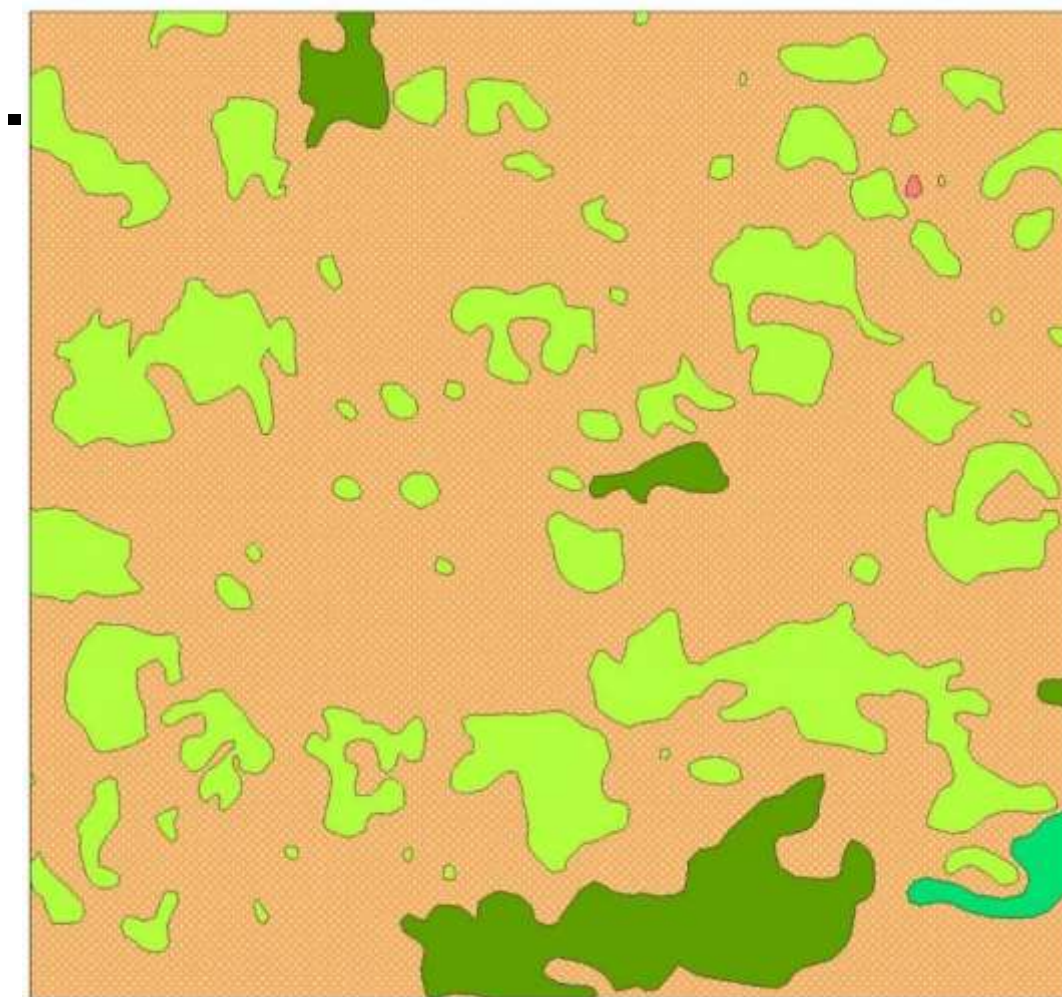


М 1:5 000



Карты растительного покрова геоботанической площадки, расположенной в южной части песчаного раздува.

2015 год

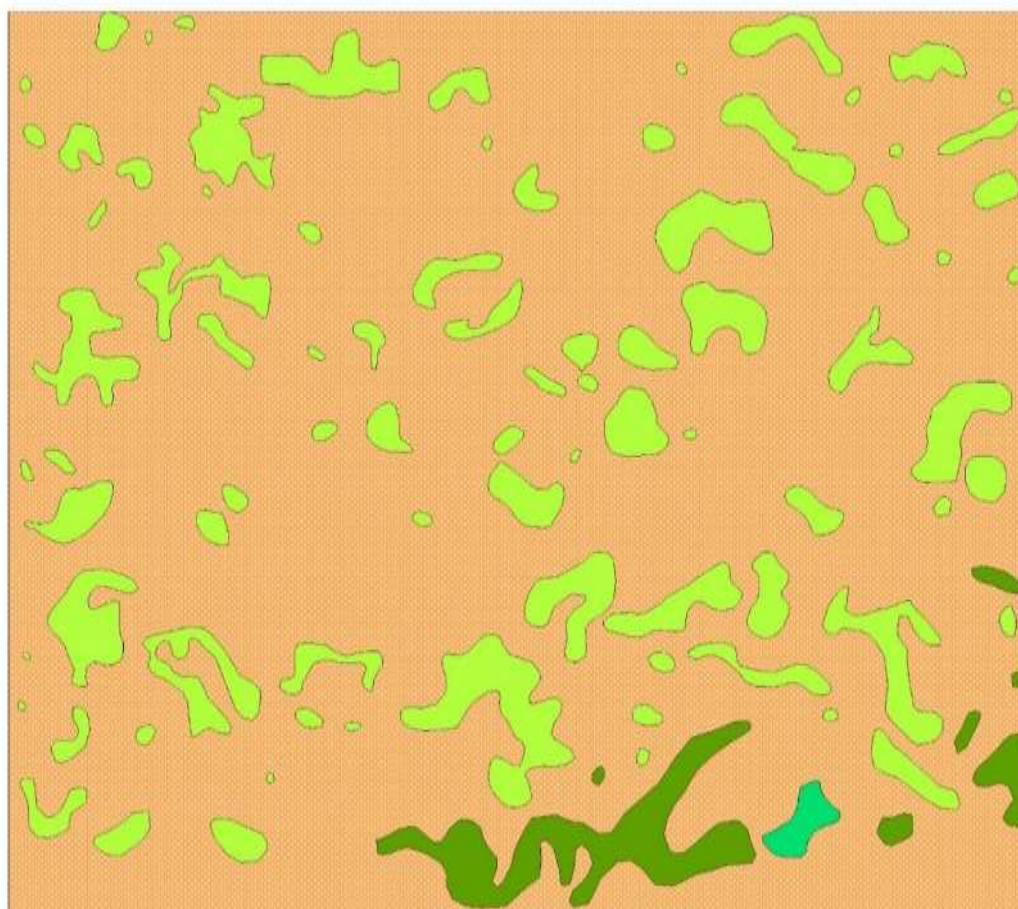


М 1:5 000







Карты растительного покрова геоботанической площадки, расположенной в южной части песчаного раздува.

2016 год



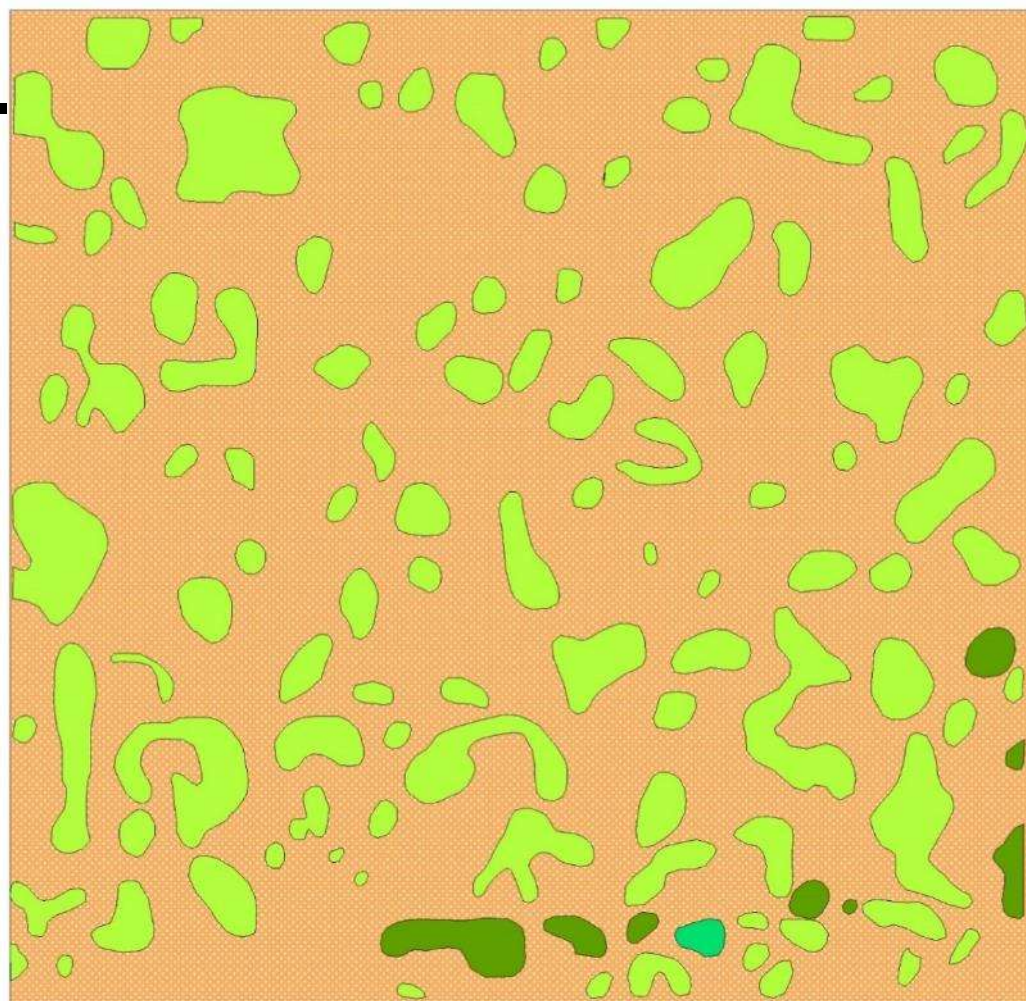
М 1:5 000

Условные обозначения

	Arena
	Fesovi, Callan
	Callan
	Fesovi



Карты растительного покрова геоботанической площадки, расположенной в южной части песчаного раздува.

2017 год



М 1:5 000

Условные обозначения

	Arena
	Fesovi, Callan
	Callan
	Fesovi

Результаты геоботанических описаний пробной площадки, расположенной в южной части Эолового массива

№ П К	Название вида	Встречаемость, %						Степень проективного покрытия, %						Средняя высота, см						Обил ие, по Друде
		201 3	201 4	201 5	201 6	201 7	201 8	201 3	201 4	201 5	201 6	201 7	201 8	201 3	201 4	201 5	201 6	201 7	201 8	
1	Lárix sibírica dead	3	1	0	0	0	0	0,4	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	un
2	Calamagro stis langsдорffi i	13	11	12	18	16	18	2,2	1,5	2,1	2,1	1,74	1,82	69	61	43	35	47, 6	48, 1	sol
3	Rumex graminifoli us	2	2	1	1	0	0	0,04 5	0,0 1	0,0 1	0,0 1	0	0	15	14	8	7	0	0	un
4	Festuca ovina	93	92	91	92	100	100	9,82	9,0	9,1	8,9 1	13,2 5	12,5 6	33	24, 7	19, 5	19, 8	34, 1	35, 2	sp
5	Tanacetum bippinatu m	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	22	19, 6	0	0	0	un
6	Arena	10 0	10 0	100	100	100	100	87,1 3	90, 2	88, 8	89, 7	85,0 1	87,2	0	0	0	0	0	0	

Обилие по Друде: sp – растения встречаются редко, покрытие больше 10%; sol – растения встречаются редко, покрытие меньше 10%; un. – очень редкие растения, менее 10 экземпляров на площадке

Геоботанические описания пробных площадок на профиле в центральной части и северо-восточной

	2013		2014		2015		2016		2017	
	ОПП	Количество видов	ОПП	Количество видов	ОПП	Количество видов	ОПП	Количество видов	ОПП	Количество видов
Геоботанический профиль в центральной части песчаного раздува										
Вершина	22	5	25	4	28	5	30	5	25	5
Подветренный	30	7	25	6	28	6	30	6	22	7
Котловина	10	8	8	7	10	7	10	8	12	8
Наветренный	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Вершина	35	5	25	4	20	4	22	4	25	5
Подветренный	10	1	5	1	5	2	3	2	3	2
Котловина	5	2	5	2	2	2	3	3	2	2
Геоботанический профиль в северо-восточной части песчаного раздува										
Вершина	0	0	1	2	0	0	0	0	2	1
Подветренный	10	2	12	4	15	4	22	3	30	3
Котловина	5	2	10	8	15	5	20	3	22	3
Наветренный	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Вершина	2	2	2	5	5	5	5	5	2	5
Подветренный	0	0	5	2	5	2	7	2	5	2
Котловина	5	1	7	3	7	2	10	2	6	2
Подветренный	0	0	12	3	15	4	20	4	22	3
ОПП ср вершины	14,7	2,4	13,2	3	13,25	2,8	14,2	2,8	13,5	3,2
ОПП ср подв.склоны	10	2	11,8	3,2	13,6	3,6	16,4	3,4	16,4	3,4
ОПП ср котловины	6,2	2,6	7,5	4	8,5	3,2	10,7	3,2	10,5	3

Геоботаническое описание вершин дюн на песчаном раздуде и сосняке
кустарничково-мохово-лишайниковым на западной границе

Виды	Годы/количество описаний					
	2013/4	2014/4	2015/4	2016/4	2017/4	Сосняк кустарничково- мохово- лишайниковый 2014/1
Овсяница овечья	sol	sol	sol	sol	sol	.
Вейник Лангсдорфа	sp	sp	sp	sp	sp	.
Пижма дваждыперистая	un	un	un	un	un	.
Щавель злаколистный	un	.	un	un	un	.
Золотарник	.	.	.	.	.	.
Ястребинка зонтичная	.	.	.	.	.	.
Береза извилистая	un	un	un	un	un	un
Сосна обыкновенная	.	.	.	.	.	sp
Лиственица сибирская	.	.	.	.	.	sp
Сосна сибирская	.	.	.	.	.	sp
Рябина	.	.	.	.	.	un
Толокнянка альпийская	.	.	.	.	.	sp
Кладония альпийская	.	.	.	.	.	sp
Кладония звездчатая	.	.	.	.	.	sp
Кладония ягодонесущая	.	.	.	.	.	sp
Брусника обыкновенная	.	.	.	.	.	sp
Сфагнум	.	.	.	.	.	sol
Политрихум	.	.	.	.	.	sol
Вороника чёрная	.	.	.	.	.	sp
ОПП	30	35	35	38	40	100
Количество видов	5	4	5	5	5	13

Примечание обилие по Друде:

Sp – растения встречаются редко, покрытие больше 10%;

Sol – растения встречаются редко, покрытие меньше 10%;

un – очень редкие растения, менее 10 экземпляров на площадке.

Геоботаническое описание подветренных склонов дюн на песчаном раздуве и сосняке кустарничково-мохово-лишайниковым на западной границе

Виды	Годы/количество описаний					
	2013/4	2014/4	2015/4	2016/4	2017/4	Сосняк кустарничково- мохово- лишайниковый 2014/1
Овсяница овечья	sol	sol	sol	sol	sol	г
Вейник Лангсдорфа	sp	sp	sp	sp	sp	.
Пижма дваждыперистая	sp	sp	sp	sp	sp	.
Щавель злаколистный	un	un	un	un	un	.
Золотарник	г	.	.	.	un	.
Ястребинка зонтичная	sol	sol	sol	sol	sol	.
Береза извилистая	un	un	un	un	un	.
Сосна обыкновенная	.	.	.	.	.	sp
Лиственица сибирская	.	.	.	.	.	un
Сосна сибирская	.	.	.	.	.	sp
Рябина	.	.	.	.	.	.
Толокнянка альпийская	.	.	.	.	.	.
Кладония альпийская	.	.	.	.	.	cop1
Кладония звездчатая	.	.	.	.	.	cop1
Кладония ягодонесущая	.	.	.	.	.	cop1
Брусника обыкновенная	.	.	.	.	.	sp
Сфагнум	.	.	.	.	.	sp
Политрихум	.	.	.	.	.	sp
Вороника чёрная	.	.	.	.	.	sol
Можевельник	.	.	.	.	.	un
ОПП	30	25	28	30	22	100
Количество видов	7	6	6	6	7	12

Примечание обилие по Друде:

Sp – растения встречаются редко, покрытие больше 10%;

Sol – растения встречаются редко, покрытие меньше 10%;

Cop 1 – растения преобладают на площадке, покрытие больше 70 %;

un – очень редкие растения, менее 10 экземпляров на площадке.

Геоботаническое описание котловин между дюнами на песчаном раздуде и сосняке кустарничково-мохово-лишайниковым на западной границе

Виды	Годы/количество описаний					
	2013/4	2014/4	2015/4	2016/4	2017/4	Сосняк кустарничково- мохово- лишайниковый 2014/1
Овсяница овечья	sol	sol	sol	sol	sol	.
Вейник Лангсдорфа	un	un	un	un	un	.
Пижма дваждыперистая	un	un	un	un	un	.
Щавель злаколистный	un	un	un	un	un	.
Золотарник	un	.	.	un	un	.
Ястребинка зонтичная	un	un	un	un	un	.
Береза извилистая	un	un	un	un	un	.
Сосна обыкновенная	.	.	.	.	.	sp
Лиственица сибирская	.	.	.	.	.	sp
Сосна сибирская	.	.	.	.	.	sp
Рябина	.	.	.	.	.	.
Толокнянка альпийская	.	.	.	.	.	.
Кладония альпийская	.	.	.	.	.	un
Кладония звездчатая	.	.	.	.	.	un
Кладония ягодонесущая	.	.	.	.	.	un
Брусника обыкновенная	.	.	.	.	.	sp
Сфагнум	.	.	.	.	.	sol
Политрихум	sol	sol	sol	sol	sol	sol
Вороника чёрная	.	.	.	.	.	sp
Черника обыкновенная	.	.	.	.	.	sp
Голубика обыкновенная	.	.	.	.	.	sp
Багульник болотный	.	.	.	.	.	sp
Ель	.	.	.	.	.	un
ОПП	10	8	10	10	12	100
Количество видов	8	7	7	8	8	14

Примечание обилие по Друде:

Sp – растения встречаются редко, покрытие больше 10%;

Sol – растения встречаются редко, покрытие меньше 10%;

Sop 1 – растения преобладают на площадке, покрытие больше 70 %;

un – очень редкие растения, менее 10 экземпляров на площадке.

Параметры влажности и температуры почв на модельном раздуве

Площадка 1 - Наветренная сторона

Глубина	Масса стаканчика (L)	Масса стаканчика с сырой почвой (M)	Масса сухой почвы (O)	Масса испарившейся воды (P)	% влажности (R)	t почвы
поверх	72,11	322,39	317,3	5,09	2,08	13,9
10	72,83	322,46	317,42	5,04	2,06	17,3
20	72,51	311,97	306,19	5,78	2,47	10,4
30	74,65	312,8	306,18	6,62	2,86	9,1
40	74,8	323,77	313,71	10,06	4,21	9
50	74,99	322,59	315,51	7,08	2,94	9,3
60	71,81	332,37	324,61	7,76	3,07	9,6

Площадка 2 - Вершины дюны

Глубина	Масса стаканчика (L)	Масса стаканчика с сырой почвой (M)	Масса сухой почвы (O)	Масса испарившейся воды (P)	% влажности (R)	t почвы
поверх	71,53	320,53	311,29	9,24	3,85	18,1
10 (корни)	74,33	318,18	306,79	11,39	4,90	12,9
20 (корни)	71,9	330,1	314,64	15,46	6,37	10
30 (корни)	71,54	318,3	307,34	10,96	4,65	9,5
40 (корни)	74,72	316,64	304,73	11,91	5,18	9,7
50 (корни)	73	321,38	313,29	8,09	3,37	10
60 (корни)	72,88	312,04	304,83	7,21	3,11	10,3

Площадка 3- Подветренный склон

Глубина	Масса стаканчика (L)	Масса стаканчика с сырой почвой (M)	Масса сухой почвы (O)	Масса испарившейся воды (P)	% влажности (R)	t почвы
поверх	74,01	305,79	290,88	14,91	6,88	21,1
10 (корни)	73,92	317,4	306,03	11,37	4,90	15,3
20 (корни)	74,53	314,5	299,29	15,21	6,77	12,5
30 (корни)	74,73	307,97	293,64	14,33	6,55	11,4
40 (корни)	73,38	329,39	304,61	24,78	10,72	10,3
50 (корни)	74,37	312,91	302,07	10,84	4,76	10,5
60 (корни)	70,46	315,26	297,7	17,56	7,73	10,8

Площадка 4- Котловина между дюнами

Глубина	Масса стаканчика (L)	Масса стаканчика с сырой почвой (M)	Масса сухой почвы (O)	Масса испарившейся воды (P)	% влажности (R)	t почвы
поверх	74,59	317,21	291,21	26	12,00	18,3
10 (корни)	74,35	320,82	300,77	20,05	8,86	11,8
20 (корни)	75	331,51	308,73	22,78	9,75	9,9
30 (корни)	73,81	315,99	298,23	17,76	7,91	9,6
40 (корни)	74,81	339,54	319,57	19,97	8,16	9,6
50 (корни)	70,06	307,19	288,63	18,56	8,49	9,8
60 (корни)	71,61	310,05	301,91	8,14	3,53	10

Описание исследуемых карьеров

Первый карьер имеет спланированную поверхность площадью около 2,15 га. Карьер располагается в Надымском лесничестве. Возраст карьера около 15 лет. Работ по рекультивации не проводилось. Были выполнены высадки подроста сосен-дичков, взятые с полос линий электропередач недалеко от карьера. В центральной части котловины, которая значительно ниже краевых частей карьера располагается участок с угнетенным растительным сообществом (рис.6). Древостой в основном состоит из сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), высаженной рядками, но сильно угнетенный. Самое высокое дерево где то около 1 м высотой имеет возраст 14 лет. Среднее – 10 лет, а самые маленькие деревца сосны высотой около 30 см имеет возраст 6 лет. Повсеместно наблюдается пожелтевшая хвоя и наличие суховершинности. Проективное покрытие растительности около 10 %. Напочвенный покров практически отсутствует, имеются участки активного раздувания песка. Травяно-моховый ярус состоит из политрихума можжевельниковидный (*Polytrichum juniperinum* Hedw.), накипного лишайника (*Parmelia sulcata* Taylor), кладонии звездчатой (*Cladonia stellaris* (Opiz) Pouzar et Vězda), алекторией охристой (*Alectoria ochroleuca* (Hoffm.) A. Massal.), овсяницы овечьей (*Festuca ovina* L.), вейника Лангсдорфа (*Calamagrostis langsdorffii* L.)

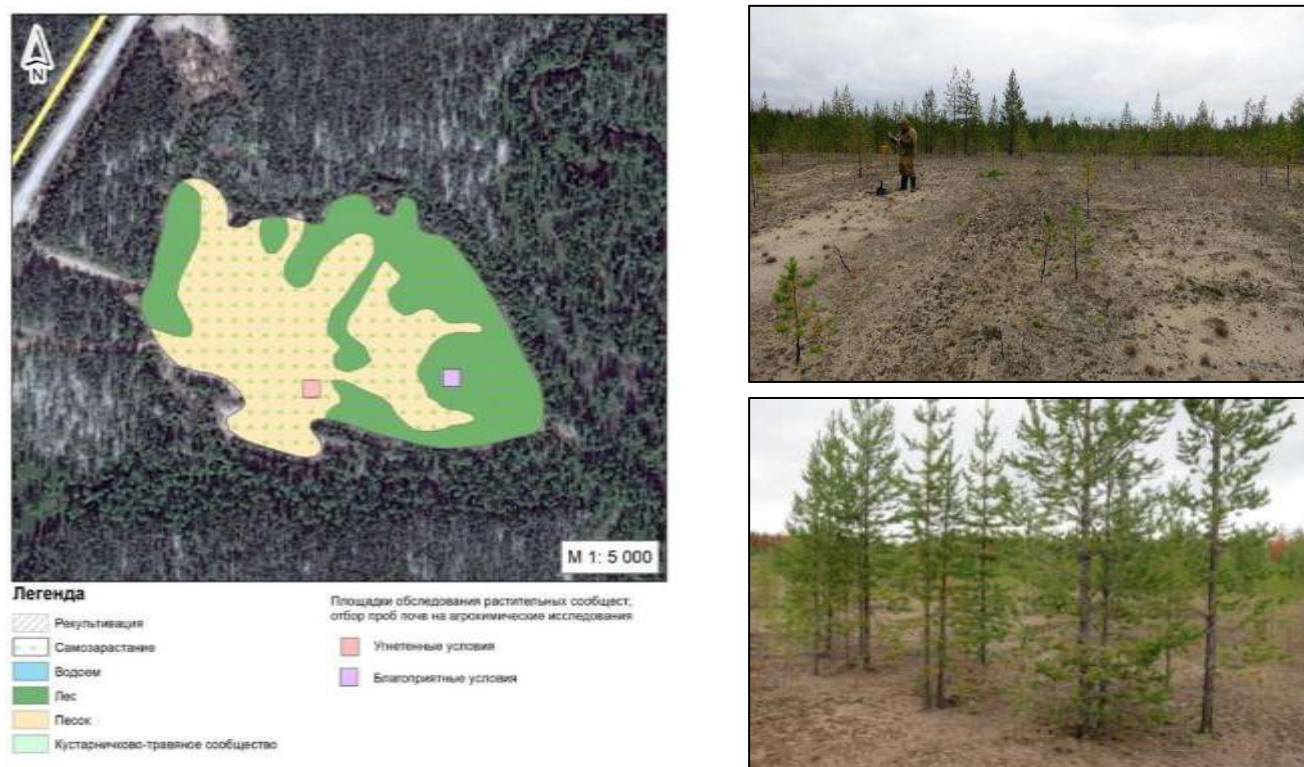


Рис. 1 - Общий вид и схема рекультивации карьера 1 (составлена автором, космическая съемка с сервиса Bing, фото август 2017 г.).

Благоприятные условия произрастания растений и восстановления почв располагается ближе к окраине карьера, где условия дренажности выше (рис. 1) Древостой на благоприятных участках состоит также из сосны обыкновенной, лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.). Высота деревьев достигает 6-7 м. Диаметр ствола около 10-12 см. Возраст самого крупного 19 лет, а маленького 12 лет. Процент пожелтевшей хвои около 5 %. Суховершинность нет. В травяно-моховом ярусе преобладают вороника черная (*Empetrum nigrum* L.), голубика обыкновенная (*Vaccinium uliginosum* L.), золотарник обыкновенный (*Solidago virgaurea* L.), кладония оленья (*Cladonia rangiferina* (L.) F. H. Wigg.), брусника

обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea* L.), овсяница овечья. Имеется подрост из осины обыкновенной (*Populus tremula* L.) и сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour).

Следующий карьер под номером 2 (рис.2) имеет площадь около 2,5 га. Возраст карьера около 15 лет. Карьер частично располагается в водоохранной зоне реки без названия левого притока р.Левая Хетта. Вокруг карьера преобладают березово-лиственнично-сосновые лишайниковые леса. Поверхность карьера не была спланирована и имеет бугристый микрорельеф. Карьер не подлежал рекультивации и является самозарастающим. На более возвышенных частях в центральной части карьера произрастают угнетенные растительные сообщества. И имеются поверхности с активным раздуванием песка. Микрорельеф сочетает в себе как пологие заросшие склоны, так и крутые не покрытые растительностью. В самом центре котловины имеются следы водной эрозии по ложбине. На угнетенных участках произрастает сосна обыкновенная, осина обыкновенная, сосна сибирская. В травяно-моховом ярусе преобладают такие виды как политрихум можжевельниковидный, иванчай узколистный (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.), вейник наземный (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth), овсяница овечья, голубика.

Благоприятно произрастающие растительные сообщества располагаются в средней части склонов по окраинам котловины карьера. В древесном ярусе преобладает сосна обыкновенная, сосна сибирская, лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.), ива трёхтычинковая (*Salix triandra* L.). Общее проективное покрытие травяно-мохового яруса составляет около 60 %. Преобладают такие виды как голубика обыкновенная, вороника чёрная, брусника обыкновенная, иванчай узколистный, овсяница овечья, вейник Лангсдорфа, политрихум можжевельниковидный.

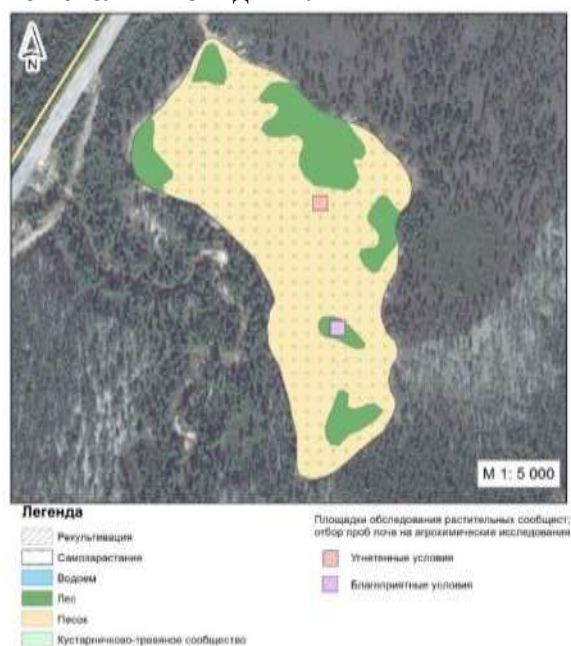


Рис. 2 - Общий вид и схема рекультивации карьера 2 (составлена автором, космическая съемка с сервиса Bing, фото август 2017 г.).

Следующий карьер под номером 3 является самозарастающим в течении примерно 30 лет. Карьер имеет крутые боковые склоны, и пониженную хорошо увлажненную центральную часть. Угнетенный участок имеет общее проективное покрытие около 20 %. Из древесных видов произрастает сосна обыкновенная, сосна сибирская, ива трёхтычинковая, береза извилистая (*Betula tortuosa* Ledeb.). В травяно-моховом ярусе произрастает клевер луговой (*Trifolium pratense* L.), иванчай узколистный, овсяница овечья, политрихум торчащий (*Polytrichum strictum* L.) и кладония альпийская (*Cladonia alpina* (Asahina) Yoshim.). Площадь карьера около 2 га.

На участке с благоприятными условиями (рис.3) общее проективное покрытие растительности достигает 100 %. Участки почти заросшие располагаются по склонам карьера. Здесь произрастают влаголюбивые виды растений такие как пушица влагалищная (*Eriophorum vaginatum* L.), ива прутовидная (*Salix viminalis* L.), хвощ полевой (*Equisetum arvense* L.), политрихум торчащий. На более дренированных участках растет сосна обыкновенная, береза извилистая, голубика обыкновенная, иван-чай узколистный, трехреберник непахучий(ромашка) (*Matricaria perforata* Mérat).



Рис. 3 - Общий вид и схема рекультивации 3 карьера (составлена автором, космическая съемка с сервиса Bing, фото август 2017 г.).

Неподалеку от 3 карьера располагается карьер 4 (рис.4). Он является недавно разработанным, территория карьера имеет неровную поверхность, сочетающуюся с высокими буграми и понижениями. Некоторые повышенные участки сохранили естественный фитоценоз коренных сообществ. На дне карьера есть остатки металлолома. Общие экологические условия характеризуются как неблагоприятные. На открытых участках в понижениях произрастают такие виды трав как овсяница овечья, вейник наземный, иванчай узколистный, подрост осины обыкновенной. Проектное покрытие оклоло 5%. Площадь карьера составляет около 8 га.

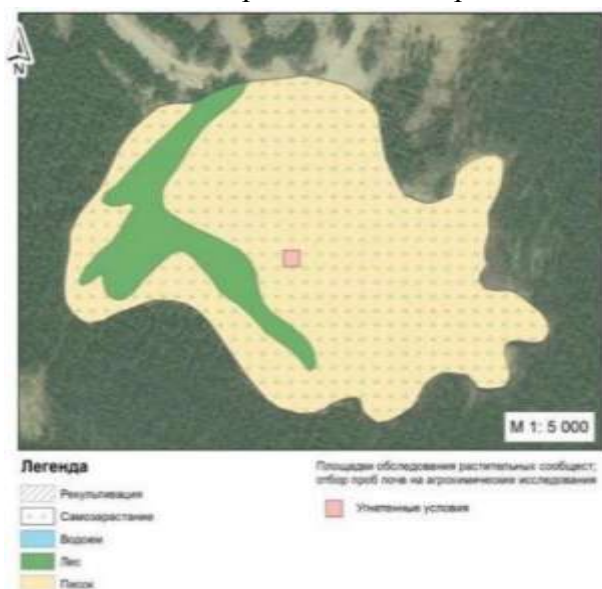


Рис.4 - Общий вид и схема рекультивации 4 карьера (составлена автором, космическая съемка с сервиса Bing, фото август 2017 г.).

Следующие три карьера 5, 6, 7 рекультивированны примерно 15-20 лет назад (рис.5-8). Условия развития растительности практически одинаковые. На данных карьерах проводились посадки лесных культур силами надымского лесничества. Все карьеры достаточно выположены, но имеется понижение в центральных частях. На половине территорий карьера были высажены подрост сосен-дичков, взятых с полосы линий электропередач, расположенной неподалёку. Сосны прижились по разному. В увлажненных частях саженцы угнетены, а по краям развиваются хорошо. В 6 карьере по центру имеется небольшой водоем. В 5 и 7 карьерах по центру произрастает влаголюбивые виды растений и деревьев такие как: хвощ полевой, ива трёхтычинковая, пушица влагалищная. На более дренированных повышенных частях произрастает сосна обыкновенная, есть самосев лиственницы сибирской, в травяно-моховом ярусе преобладают такие травы как иванчай узколистный, вейник Лангсдорфа, овсяница овечья, брусника обыкновенная, кладония альпийская, политрихум торчащий, голубика обыкновенная, золотарник обыкновенный. Проектное покрытие травяно-мохового яруса составляет 10-15%. На 6 карьере выявлено значительное преобладание зарослей ольхи кустарниковой (*Duschekia fruticosa*).

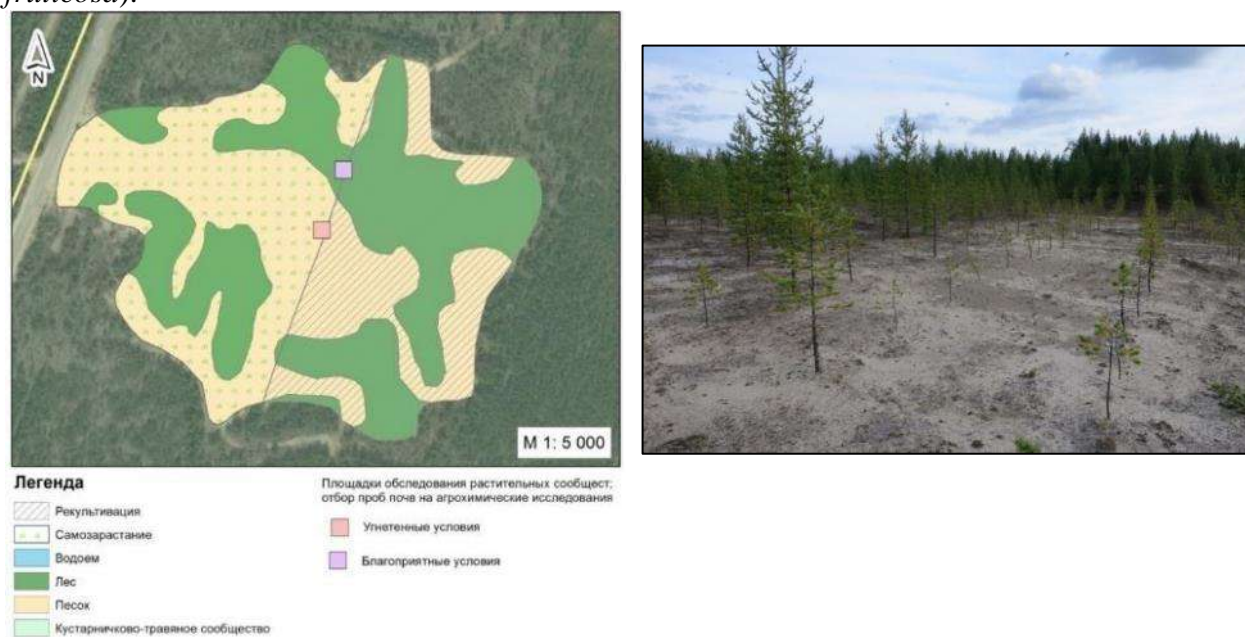


Рис.5 - Общий вид и схема рекультивации 5 карьера (составлена автором, космическая съемка с сервиса Bing, фото август 2017 г.).



Рис. 6 - Общий вид и схема рекультивации 6 карьера (составлена автором, космическая съемка с сервиса Bing, фото август 2017 г.).

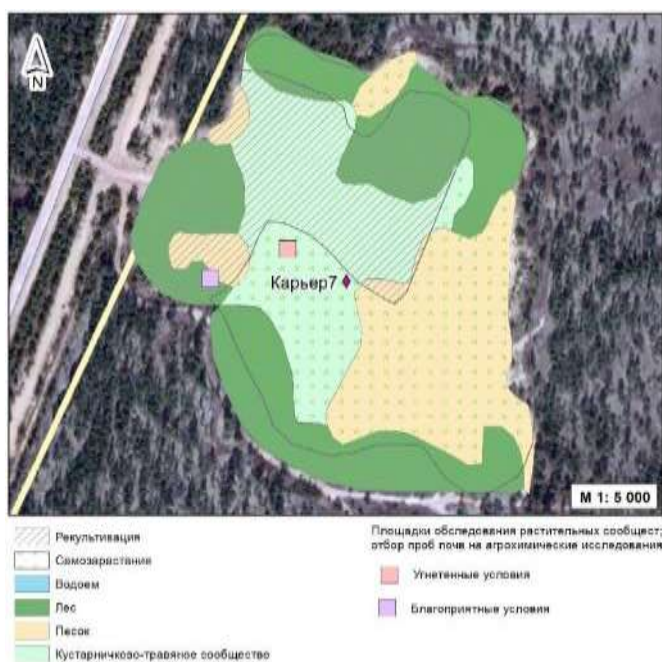


Рис. 7 - Общий вид и схема рекультивации 7 карьера (составлена автором, космическая съемка с сервиса Bing, фото август 2017 г.).

Статистические характеристики проективного покрытия

Объект/показатель	2 зона (вершины дюн)	3 зона (подветренные склоны)	4 зона (котловины между дюнами)
n	30	30	30
Среднее	17,3	19,5	7,4
Ошибка среднего	2,14	2,84	1,24
Стандартное отклонение	6,78	8,99	3,95
Коэффициент вариации, %	39,21	46,14	53,37
Минимум	12,44	13,06	4,57
Максимум	22,15	25,93	10,22

Оценка ошибок репрезентативности и критерия достоверности выборочного показателя данных проективного покрытия, обилия видов и надземной фитомассы на исследуемом модельном раздуже.

Статистические характеристики	Общее проективное покрытие растительностью	Обилие	Фитомасса
Стандартное отклонение S_x	8,53	1,34	4,55
Среднее арифметическое	14,7	4,1	5,8
Ошибка среднего арифметического $S_{\bar{x}}$	1,55	0,24	0,45
Ошибка среднего квадратического отклонения S_{S_x}	1,10	0,17	0,32
Ошибка дисперсии $S_{S_x^2}$	9,4	0,23	1,4
Критерий достоверности среднего арифметического $t_{\bar{x}}$	9,45	16,65	9,36
Критерий достоверности среднего квадратического отклонения t_{S_x}	7,74	7,74	14,14
Критерий достоверности дисперсии $t_{S_x^2}$	7,74	7,74	14,14

Критерии достоверности выборочного показателя $t > 3$, следовательно, данные выборки достоверно характеризуют генеральную совокупность данных.