

**ЛОБОТРОСОВА СВЕТЛАНА АЙРАТОВНА**

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

**03.02.08 – экология (биология)**

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

**Тюмень - 2020**

Работа выполнена в Институте криосферы Земли – обособленном структурном подразделении ФГБУН «Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»

**Научный руководитель:** доктор биологических наук, профессор кафедры геоэкологии и природопользования Института наук о Земле ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», Заслуженный эколог РФ  
**Соромотин Андрей Владимирович**

**Официальные оппоненты:** **Исаев Александр Петрович**, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, и.о. заместителя директора по научной работе ФГБУН «Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН»– обособленное подразделение ФИЦ «Якутский научный центр»

**Миронычева-Токарева Нина Петровна**, кандидат биологических наук, доцент, заведующая лабораторией биогеоэкологии ФГБУН «Институт почвоведения и агрохимии СО РАН»

**Ведущая организация:** **ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»**

Защита диссертации состоится 9 июня в 13-30 на заседании диссертационного совета Д 999.114.02 ФГБОУ ВО «ГАУ Северного Зауралья» по адресу: 625003 г. Тюмень, ул. Республики, 7

Телефон/факс: 8(3452) 29-01-52, e-mail: [dissgausz@mail.ru](mailto:dissgausz@mail.ru)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке государственного аграрного университета Северного Зауралья и на сайте университета <http://www.tsaa.ru>

Автореферат разослан «10» марта 2020 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор с.-х. наук

Турсумбекова Галина Шалкаровна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**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; Игловилов, 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 – золовая. 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 северотаёжной 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 страницы машинописного текста, включает 61 рис. и 27 табл. Список литературы содержит 243 источника, из них 17 – на иностранных языках.

## **Содержание работы**

### **1 Эоловые формы рельефа как индикаторы палеоусловий (обзор литературы)**

В главе представлен обзор литературных источников (1913–2018 гг.) по происхождению и распространению эоловых форм рельефа криолитозоны Земли.

Рассмотрены основные классификации сукцессий растительности (Клементс, 1874; Сукачев (1938); Разумовский, Одум, 1986; Работнов, 1992; Миркин, Наумова, 2002). Изучен опубликованный материал по исследованиям флоры и растительности песчаных обнажений различного генезиса российскими и зарубежными учеными.

### **2 Объекты и методы исследования**

Изучение эоловых процессов проводилось в 30 км от г. Надым на одном из песчаных раздувов природного происхождения (площадью 194 га), расположенном на правом берегу р. Хейгияха (Лонгъюган) в нижнем течении р. Надым, и на песчаных карьерах вдоль трассы «Надым-Ягельное» в период с августа с 2013 г. по август 2018 г.

При изучении фитоценозов использовали общепринятые геоботанические методы трансект и пробных площадок (604 описания ежегодно август 2013-2018 гг.). Типизация сообществ проводилась при помощи традиционного подхода для русских геоботаников (Шенников, 1964; Катенин, 1972а, 1972б; Матвеева 1978, 1985; Паянская-Гвоздева, 1990). Для выявления стадий сукцессий применяли метод сравнительного изучения сообществ (Полевая геоботаника, 1964; Атлас – определитель [www.plantarium.ru](http://www.plantarium.ru)).

Опыты по рекультивации оголенных песков проводили на песчаном раздуве следующими методами: внесение торфа с последующим перемешиванием с песком, использование биомата БТ-СО/100, демутиационный метод, установка ограждений (мелкоячеистая сетка перпендикулярно направлению доминирующих ветров на наветренном склоне дюны). Эффективность лесоразведения изучали на 14 площадках песчаных карьеров в августе 2017 г.

При составлении тематических карт и изучении временной динамики площади песчаного раздува и песчаных карьеров использовали методы ландшафтно-индикационного дешифрирования (Agisoft Photoscan v.1.3, ArcGIS) с использованием космоснимков высокого разрешения (Landsat 5 и 7, WorldView-2, Pleiades-1, 1988-1987, 2001, 2013 гг.). Аэрофотосъемку территории песчаного раздува осуществляли беспилотным летательным аппаратом MavicPro. Микроклиматические наблюдения проводили с использованием «Метеоскопа-М».

Исследования почвогрунтов песчаного раздува, песчаных карьеров и почв коренных фитоценозов проводили путем заложения почвенных разрезов, отбор

проб осуществляли методом конверта. Анализ отобранных проб проводили в 2017-2018 гг. в лаборатории Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН в г. Пущино и в лаборатории механики грунтов Института Криосферы Земли ТНЦ СО РАН. Для определения кислотности водной и солевой вытяжек, гидролитической кислотности использовался потенциометрический метод,  $K_2O$  – метод пламенной фотометрии, содержания гумуса – гравиметрический метод,  $C_{орг}$  – титриметрический вариант метода Тюрина с окислением в термостате при температуре  $140^{\circ}C$ . Обменная кислотность, обменные  $H^+$  и  $Al^{3+}$  и обменные основания ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ) определяли по методу Соколова,  $P_2O_5$  – по методу Кирсанова. Для определения окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) использовали иономер И-160МИ, гранулометрического состава – лазерный дифракционный анализатор размеров частиц Mastersizer 3000E, валового содержания оксидов – рентгено-флуоресцентный метод. На песчаном раздуве проводили измерения температуры почв и влажности (пирометр DT-8663, по методу Муравьева, 2008).

Статистическую обработку данных проводили при помощи программ – Statistica 6.0, Statgraphics, STATAN (Гашев, 2011), Microsoft Excel 2016.

### **3 Анализ растительности и структуры растительных сообществ на песчаном раздуве северной тайги Западной Сибири**

**3.1 Анализ флоры и растительности.** Флора естественных развееваемых 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). Особенностью растительного покрова песчаных раздувов северной тайги Западной Сибири является преобладание сосудистых растений над мхами и лишайниками по числу видов. 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 *Cyperaceae* (4), *Ericaceae* (5), *Parmeliaceae* (4), *Asteraceae* (3), *Poaceae* (3), с небольшим числом семейств споровых *Cladoniaceae* (3), *Pinaceae* (3). Спектр ведущих семейств флоры северной тайги Западной Сибири типичен для бореальных флор в целом, для которых характерна ведущая роль семейств сосудистых *Asteraceae*, *Poaceae*, для мхов *Polytrichaceae* (2 вида из 3), лишайников *Parmeliaceae* (4 вида из 7) и *Cladoniaceae* (3 вида из 7). Преобладают группы северного распространения: 70,3% – доля бореальной флоры, 29,7% – доля арктической, гипоарктической и гипоарктоальпийской. Среди долготных элементов ведущее место занимают евроазиатские (60%) и циркумполярные (37%) виды, остальные 3% приходятся на евразийско-

западноамериканские и сибирские. В структуре флоры развеваемых песков северной тайги Западной Сибири по числу видов преобладают травянистые растения (15 видов) над древесными жизненными формами (6 видов). Доля кустарничков также невелика (6 видов). Среди древесных форм преобладают деревья одноствольные, среди травянистых – длиннокорневищные стержнекорневые (8 видов), длиннокорневищные плотнокустовые дерновинные (5 видов), короткорневищные (2 вида) поликарпики. По Раункиеру преобладают гемикриптофиты (55,5%), в равной части хамефиты (22,2%) и фанерофиты (22,2%). По фактору увлажнения преобладают мезофиты (48,1%), остальная часть приходится на психрофиты (14,8 %), ксерофиты (7,4%), гигрофиты (22,2 %) и гидрофиты (7,4 %). К псаммофитам относится один вид – *Rumex graminifolius* Lamb.

Сравнение видового разнообразия флоры окружающих фитоценозов и песчаных обнажений показало, что в зарастании котловины выдувания участвовали виды местной флоры (коэффициент Чекановского-Сёренсена – 45%, Жаккара – 24 %).

**3.2. Структура растительности.** В ходе исследований были выявлены закономерности распределения растительности в мезорельефе песчаного раздува. Степень различия между зонами по индексу Жаккара и Чекановского-Сёренсена (табл. 1) позволила выделить несколько зон с различными условиями формирования растительного покрова, оценить структурные особенности фитоценозов каждой из них (рис 1).

Таблица 1 – Коэффициенты сходства списка видов сосудистых и споровых растений выделенных фитоценозов

Фитоценоз	Пижмово-овсяницевый	Овсяницево-вейниковый	Овсяницево-политриховый
Пижмово-овсяницевый	-	55	44
Овсяницево-вейниковый	71	-	41
Овсяницево-политриховый	61	58	-

Первая зона – это наветренные склоны валов и дюн, характеризующиеся отсутствием растительных сообществ и пологим рельефом.

Вторая зона – вершина дюн. Одна из наиболее насыщенных видами растений. Здесь выделен пижмово-овсяницевый фитоценоз (доминирующие виды – пижма дваждыперистая (*Tanacetum bipinnatum* L. Sch. Bip.; обилие по Друде – sp.), овсяница овечья (*Festuca ovina* L., sp.), второстепенные – вейник Лангсдорфа (*Calamagrostis langsdorffii* L., sol.), ястребинка зонтичная (*Hieracium umbellatum* L., un.), щавель злаколистный (*Rumex graminifolius* Lamb., un.), отмирающие экземпляры лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb., un.). Общее проективное покрытие варьирует от 10 до 20%. (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).

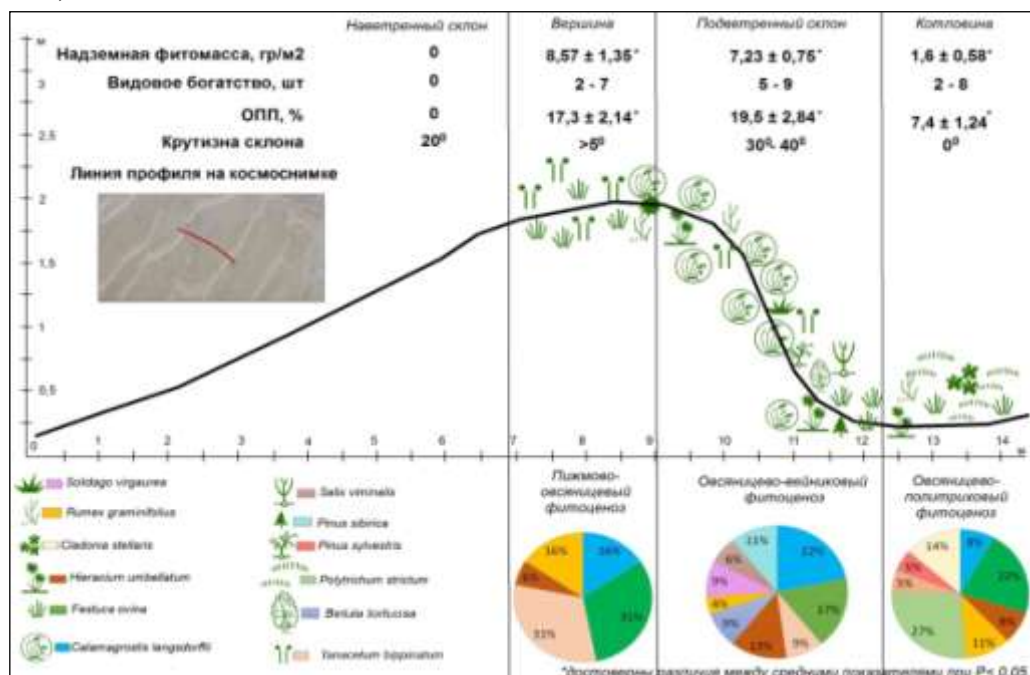


Рис. 1 – Поперечный профиль дюны на модельной котловине выдувания

Третья зона – подветренные склоны. Здесь выделен овсяниково-вейниковый фитоценоз (доминирующие виды – вейник Лангсдорфа (sp.), овсяница овечья (sp.), второстепенные – пижма дваждыперистая (sol.), ястребинка зонтичная (sol.), щавель злаколистный (sol.), береза извилистая (*Betula tortuosa* Ledeb., un.), ива прутовидная (*Salix viminalis* L., un.), золотая розга (*Solidago virgaurea* L., un.), сосна сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour, un.). Общее проективное покрытие варьирует от 15 до 35 % (рис.1).

Четвертая зона – котловины между дюнами. Здесь выделен овсяниково-политриховый фитоценоз (доминирующие виды – политрихум торчащий (*Polytrichum strictum* Brid., sp.), овсяница овечья (sp.), второстепенные – кладония звездчатая (*Cladonia stellata* (Opiz) Pouzar et Vězda, sol.), ястребинка зонтичная (un.), щавель злаколистный (un.), сосна сибирская (un.), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L., un.). Общее проективное покрытие варьирует от 2 до 10%. Расположение выделенных фитоценозов по площади обнажения в основном фрагментарное, разрозненное. Для стабильных условий на выровненных поверхностях или бугров небольших размеров (длина 3-5 м, ширина 3-4 м, высота до 0,5 м) выделяются еще 4 вида фитоценозов: антропогенно-нарушенных зон с участием синантропных видов; участков восстановления – «анклавы» (лиственнично-сосновый лишайниковый лес с примесью березы); останцов почв (сосновые острова); фитогенных бугров (толокнянково-политриховые).

**3.3 Сукцессии растительности.** По данным дешифрирования и сравнения космических снимков с 1968 по 2012 гг. установлено, что дюны песчаного раздува за год перемещаются на 1 м (Сизов, Лоботросова, 2016). Сукцессии фитоценозов на песчаном раздуве определяет ветровая нагрузка, обуславливающая формирование и перемещение элементов мезорельефа. Закономерная смена этих элементов (наветренная сторона – бугор – подветренная сторона – котловина) определяет облик растительных сообществ в текущий момент времени. Нами выделен новый тип первичной сукцессии растительности – эоловая экзогенетическая (аллогенная), имеющая два основных направления – циклическое и линейное. 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 в случае прекращения движения песчаных дюн и проходит 6 стадий до образования устойчивого климаксового сообщества (рис. 2).

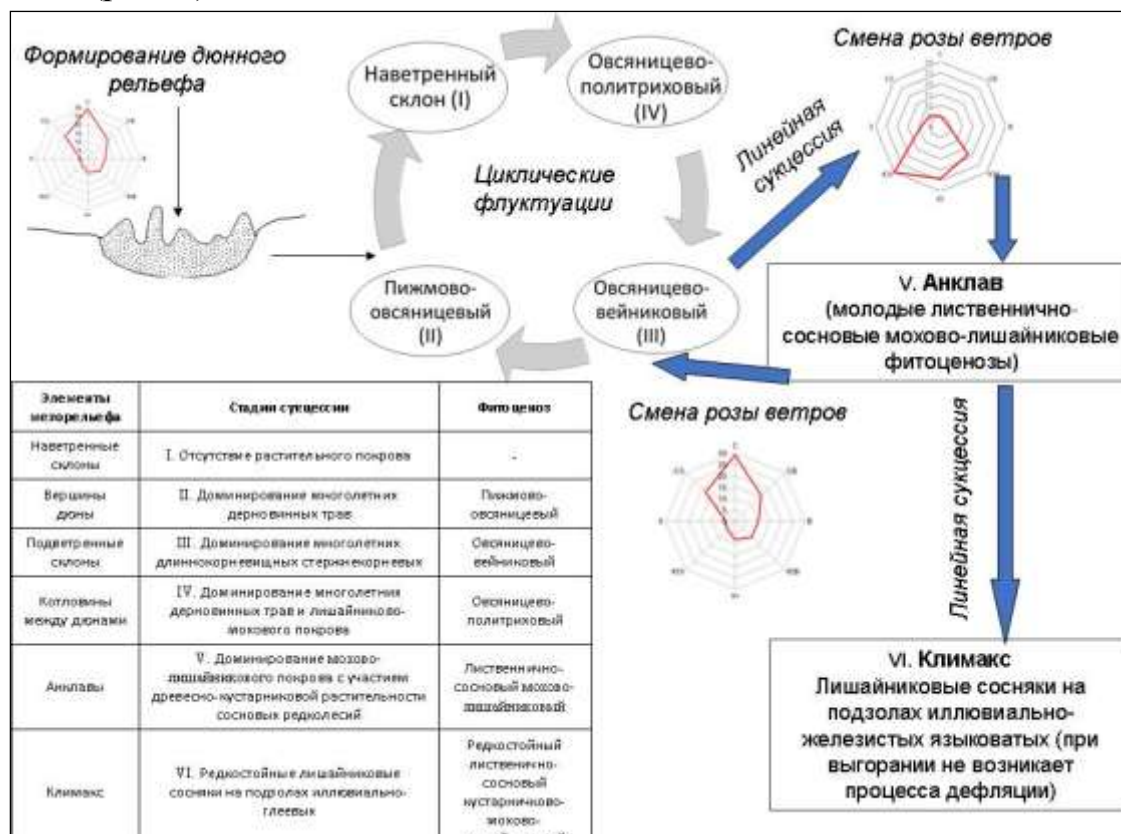


Рис. 2 – Динамика восстановительных стадий выявленных фитоценозов песчаного раздува.

Исходной причиной динамики растительного покрова в том или другом направлении стабилизации является относительное постоянство или смена 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. Исходя из этого, нами предложена схема сукцессий растительного покрова (рис. 2). Рассматривая формирование растительности на песчаных раздувах, следует отметить, что первые четыре стадии сукцессии представлены, в основном, в центральной части котловин выдувания. Пятая стадия на периферийных частях раздува, где происходит стабилизация песчаного субстрата. Климаксовое сообщество расположено на западной окраине песчаного раздува.

На начальных стадиях сукцессии подвижных субстратов происходит незначительное увеличение числа видов (с 4 до 7 за 5 лет). При этом на раздуваемых песках наблюдается преобладание только сосудистых растений. При стабилизации отмечается изменение структуры сообщества и появление лишайниково-мохового и древесно-кустарничкового ярусов, число видов возрастает до 17 (10 – сосудистые растения; 2 – мхи; 5 – лишайники). Флористический состав второй и третьей стадий сукцессии на подвижных песках меняется как количественно, так и качественно. Открытые перевиваемые пески закрепляет дерновинный злак – овсяница овечья, длиннокорневищный стержнекорневой вейник Лангсдорфа и пижма дваждыперистая. На третьей стадии к ним присоединяются еще 5 видов – 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. Заселение политрихума торчащего и кладонии звёздчатой, появление всходов сосны сибирской. Происходит выбывание и псаммофита щавеля злаколистного. Количество видов снижается до 2–3 видов. На заключительной стадии к моховому покрову, состоящему преимущественно из политрихума торчащего и можжевельниковидного (*Polytrichum juniperinum* Hedw.) присоединяются лишайники (кладония звёздчатая, пармелия бороздчатая (*Parmelia sulcata* Taylor)), алектория охристая (*Alectoria ochroleuca* (Hoffm.) A. Massal.), цетрария снежная (*Flavocetraria nivalis* (L.) Kärnefelt et A. Thell.), цетрария клобучковая (*Flavocetraria cucullata* (Bellardi) Kärnefelt et A. Thell.), кладония оленья (*Cladonia rangiferina* (L.) F. H. Wigg.), кладония альпийская (*Cladonia alpina* (Asahina) Yoshim.) и кустарнички (голубика обыкновенная (*Vaccinium uliginosum* L.), брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea* L.), багульник болотный (*Ledum palustre* L.), толокнянка альпийская (*Arctous alpina* L. Nied.) и обыкновенная (*Arctous uva-ursi* L. Spreng.), вороника чёрная (*Empetrum nigrum* L.). Также к единичным всходам сосны сибирской присоединяются проростки новых видов деревьев (береза извилистая, сосна

обыкновенная, лиственница сибирская, кустарники из ивы прутовидной и трёхтычинковой (*Salix triandra* L.).

При стабилизации песка на последних стадиях происходит резкое увеличение общего проективного покрытия (от 17,3% на 2 стадии до 45% на 4 стадии). По нашим наблюдениям для подвижных песков характерно образование разреженных сообществ из видов трав, способных закрепляться и существовать в данных условиях. На стабильных песках главная роль принадлежит споровым растениям, а затем развиваются кустарнички, кустарники и деревья, что согласуется с другими исследованиями, полученными в зоне тундры, лесотундры, степи (Кулюгина, 2004; Ермохина, 2009; Дулепова, 2014).

#### 4 Экологические условия формирования растительности на песчаном раздуве

**4.1 Геологические условия и мезорельеф.** Эоловые отложения исследуемой площади были сформированы на мощных толщах песчаных отложений морского, ледникового и озерно-аллювиального генезиса плейстоценового времени (Атлас ЯНАО, 2004). Исследуемый песчаный раздув расположен на второй надпойменной террасе р. Надым и сложен аллювиальными отложениями. Песчаные толщи имеют легкий гранулометрический состав и состоят в основном из фракций мелкого песка. В котловинах между дюнами преобладает фракция пылеватых частиц с включением физической глины. Под действием северо-западных, северо-восточных и юго-западных ветров на модельной котловине выдувания формируются своеобразный мезорельеф (Леонтьев, 1979; Гаель, Смирнова, 1999; Рычагов, 2006; Щеглов, 2017). На поверхности изучаемого песчаного раздува выделяются основные формы мезорельефа такие, как дюнные валы и котловины между ними.

**4.2 Климатические условия.** Установлено, что главным абиотическим (климатическим) фактором, определяющим развитие растительности на поверхности песчаного раздува, является скорость ветра (табл. 2).

Таблица 2 – Корреляция общего проективного покрытия растительностью и климатическими показателями

Показатели	Meam (min – max)	SD	Cv	Коэффициент корреляции
				ОПП
Общее проективное покрытие Растительностью (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

Особенностью микроклиматических условий песчаного раздува является повышенная влажность воздуха и сниженная ветровая нагрузка на подветренных

склонах дюн (рис.3).

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.

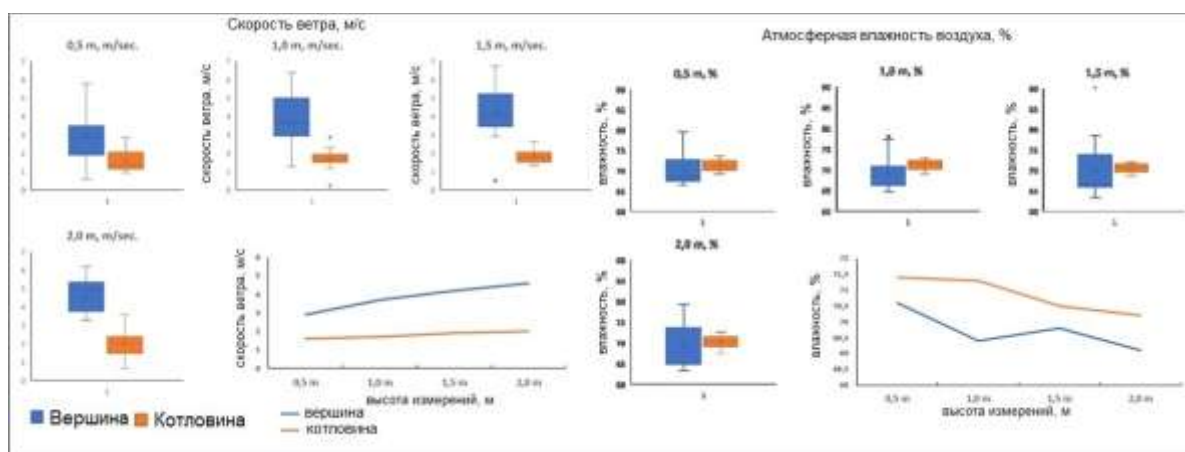


Рис. 3 – Изменение параметров микроклимата на основных элементах мезорельефа песчаного раздува

**4.3 Эдафические условия.** Исследованные почвогрунты являются молодыми примитивными почвенными образованиями. По гидротермическим условиям исследуемые почвогрунты различаются по элементам мезорельефа. Для подветренного склона дюн характерны максимальные показатели температуры поверхности почв. Наиболее увлажненными являются грунты котловин между дюнами (рис. 4).

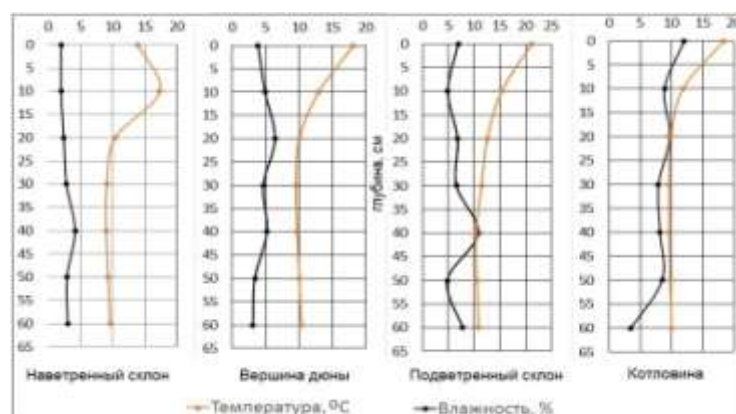


Рис. 4 – График изменения температуры и влажности почв по элементам мезорельефа песчаного раздува

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

**5.1 Рекультивация модельного песчаного раздува.** Исследованные варианты биологической рекультивации показали, что укладка биомата и внесение торфа с последующим перемешиванием с песком эффективно способствуют формированию растительного покрова независимо от положения в рельефе (табл. 3).

На подветренном склоне и в котловине между дюнами происходит увеличение общего проективного покрытия и возрастание видового богатства за счет местных видов флоры (пижма дваждыперистая, ястребинка зонтичная и золотарник обыкновенный). На наветренных склонах увеличение проективного покрытия происходит за счет семян из внесенной травосмеси (райграс многолетний, кострец безостый).

Таблица 3 – Изменение общего проективного покрытия растительностью и количества видов растений на площадках рекультивации за 2017-2018 гг.

№ площадки	Способ рекультивации	Положение в рельефе	Доминирующие виды, участвующие в зарастании	Количество видов		Общее проективное покрытие растительностью, %	
				2017	2018	2017	2018
1	2	3	4	5	6	7	8
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; шавель злаколистный	3	4	14	18
2а	Биомат	Понижение между дюнами, центральная часть	Пижма дваждыперистая; шавель 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, шавель 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

Демутационный метод рекультивации оголенных песков показал наименьшую эффективность. Даже при внесении необходимого количества удобрений данный метод не будет считаться эффективным, так как не создает препятствия для задержания песка.

**5.2 Рекультивация песчаных карьеров.** Обследование растительности песчаных карьеров показало, что приживаемость саженцев сосны обыкновенной в карьерах высокая (более 80%), в результате чего в последнее время здесь сформировались молодые сосняки. Основными негативными факторами, влияющими на приживаемость дичков на исследуемых песчаных карьерах, являются: переувлажнение в понижениях рельефа, приводящее к вымоканию корневой системы, и подсыхание корней при раздувании песчаной поверхности на более возвышенных участках. При сравнении физико-химических свойств почв карьеров, фоновых сообществ и почво-грунтов песчаного раздува установлено низкое количество питательных элементов и органических веществ. Наиболее высокие показатели подвижных форм фосфора отмечаются в глеево-подзолистой почве, наименьшее – в почвогрунтах песчаного раздува. Почвы карьеров отличаются средним содержанием фосфора, что является следствием остаточного содержания его в материнской породе данного региона. В этом отношении они близки фоновым условиям котловины выдувания и сосново-лишайникового редколесья, отличаясь только в части краткосрочной нормализации кислотности после прекращения антропогенного воздействия. Эта временная ситуация сменяется трендом на закисление по мере увеличения влажности и возникновением процесса заболачивания (табл. 4).

Таблица 4 – Физико-химический состав исследуемых почв

pH , ед.	pH, ед.	Гидр. к-ть	H <sup>+</sup>	Al <sub>3</sub> <sup>+</sup>	Eh (ОВП)	С <sub>орг</sub> , %	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
H <sub>2</sub> O	KCl	мг-экв/100г					мг-экв/100г				мг/100 г	
Анклав (примитивная слоистая)												
5,58	4,13	0,40	0,06	1,20	300	0,17	1,60	0,40	0,06	0,03	0,86	2,85
Котловина												
5,60	4,67	4,88	0,03	0,19	218	0,06	0,80	0,40	0,02	0,03	1,03	0,70
Вершина												
5,64	4,40	1,94	0,03	0,62	265	0,06	1,80	0,60	0,04	0,01	1,01	1,35
Подветренные склоны												
5,64	4,23	0,78	0,04	1,55	318	0,10	2,20	0,60	0,09	0,02	0,47	3,35
Подзол иллювиально-железистый												
4,61	4,28	1,50	0,05	0,34	250	0,12	1,20	1,00	0,01	0,03	0,71	0,30
Глеево-подзолистая												
4,71	3,87	6,13	0,12	2,11	290	0,62	1,60	0,40	0,06	0,03	5,30	1,95
Зарастающие участки карьеров (среднее значение)												
5,76	4,43	1,72	0,03	0,49	298	0,12	1,27	0,53	0,04	0,01	1,80	1,70
Оголенные участки карьеров (среднее значение)												
5,63	4,59	1,08	0,03	0,17	291	0,08	3,11	0,40	0,06	0,02	2,17	2,39

Эдафические условия для восстановления растительного покрова на песчаных раздувах и карьерах экстремальные, поэтому при устранении неблагоприятных факторов для карьеров с низким уровнем грунтовых вод необходимы дополнительные меры по закреплению поверхности, в отличие от естественных раздувов с дюнным мезорельефом.



## 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 лишайниково-мохово-кустарничковые леса с примесью березы.
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 лишайниково-мохового покрова с участием древесно-кустарниковой растительности сосновых редколесий → редкостойный лиственнично-сосновый кустарничково-мохово-лишайниковый лес.
4. Основными метеозлементами, 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,



вейник наземный, 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 работ, опубликованных по теме диссертации**

#### **Публикации в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных Перечнем ВАК РФ**

1. **Лоботросова С.А.** Восстановление растительности на эоловых формах рельефа в северной тайге Западной Сибири//Криосфера земли. – 2014. – Т. XVIII. № 1. С. 83-87. Версии: Vegetation recovery on eolovy relief forms in the northern taiga of west siberia Lobotrosova S.A.Earths Cryosphere. – 2014. – Т. 18. – № 1. – С. 83-87.
2. 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.
3. Сизов О.С., **Лоботросова С.А.**, Соромотин А.В. Лишайниковые сосняки северной тайги Западной Сибири как индикатор ледниковых условий рельефообразования // Проблемы региональной экологии. – 2017. – № 2. – С. 60-68.

#### **Публикации в других изданиях**

4. **Лоботросова С.А.** Природовосстановление эоловых форм рельефа в северной тайге Западной Сибири// Земля, вода, климат Сибири и Арктики в XXI веке: проблемы и решения: сб. докл. Международной научно-практической конференции. – Тюмень. – 2014. – С. 230-232.
5. **Лоботросова С.А.**, Сизов О. С. Динамика эолового рельефа в северной тайге Западной Сибири (на примере Надымского стационара) // Арктика, Субарктика: мозаичность, контрастность, вариативность криосферы: Труды международной конференции. – Тюмень. – 2015. – С. 213-216.
6. Пономарева О.Е., Москаленко Н.Г., Бердников Н.М., Бляхарчук Т.А., Бочкарев Ю.Н., Устинова Е.В., Гравис А.Г., **Лоботросова С.А.**, Матышак Г.В., Попов К.А., Сизов О.С., Якимов А.С. Трансформация криогенных геосистем южной части Арктики Западной Сибири под влиянием потепления климата // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. – 2015. – № 2. – С. 123-130.
7. Соромотин А.В., Сизов О.С., **Лоботросова С.А.**, Табуркин, Л.А., БродтЛ.В., Ефимова А. А. Итоги первого полевого сезона проекта РФФИ-ЯНАО по изучению дефляционных процессов в тундровой и северо-таежной зонах Западной Сибири // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. – 2016. – № 4 (93). – С. 29-34
8. **Лоботросова С.А.**, Сизов О. С. Динамика восстановления растительности развеваемых песков северотаежной подзоны Западной Сибири на примере

- модельной котловины выдувания, расположенной в бассейне р. Надым. // Окружающая среда и менеджмент природных ресурсов: тезисы докладов VI Международной конференции. Тюмень – Ишим, 2016. – С.88-90
9. **Лоботросова С.А.** Формирование растительности на слабозакрепленных песках северной тайги Западной Сибири на примере бассейна р.Надым // Проблемы геологии и освоение недр: труды XXI международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М.И. Кучина. – Том1. – 2017. – С.769-771.
- 10.**Лоботросова С.А.**, Соромотин А.В. Закономерности развития растительности на песчаных обнажениях в подзоне северной тайги Западной Сибири (на примере бассейна р. Надым) // Ландшафтоведение: теория, методы, ландшафтно-экологическое обеспечение природопользования и устойчивого развития: матер. XII Межд. ландш. конф. (Тюмень-Тобольск, 22-25 августа 2017 г.). – Тюмень: Изд-во Тюменского гос. ун-та, 2017. – Т.2. – С. 369-373.
- 11.Сизов О.С., Вольвах А.О., **Лоботросова С.А.**, Соромотин А.В. Литологические аспекты происхождения эолового рельефа в бассейне р.Надым // Фундаментальные проблемы квартера: итоги изучения и основные направления дальнейших исследований: матер. X Всерос. совещ. по изучению четвертичного периода (Москва, 25-29 сентября 2017 г.) – М.: ГЕОС, 2017. – С. 385-387.
- 12.**Лоботросова С.А.**, Сафонов Ю. С., Соромотин А.В., Сизов О.С. Роль мезорельефа в зарастании естественных песчаных дюн в подзоне северной тайги Западной Сибири // Актуальные вопросы биогеографии: матер. Межд. конф. (Санкт-Петербург, 9-12 октября 2018 г.). – Санкт-Петербург: Изд-во СПбГУ, 2018. – С. 242-244.
- 13.**Лоботросова С.А.**, Соромотин А.В., Сизов О.С., Сафонов Ю. С. Растительные сообщества эоловых форм рельефа северной тайги Западной Сибири и рекомендации к рекультивации оголенных песков // Человек и Север: Антропология, археология, экология: матер. Всерос. науч. конф. (Тюмень, 2-6 апреля 2018 г.). – Тюмень: ФИЦ ТюмНЦ СО РАН, 2018. – Вып. 4. – С. 531-535.
- 14.Соромотин А.В., Сафонов Ю.С., **Лоботросова С.А.** Особенности формирования растительного покрова на естественных эоловых формах рельефа в условиях северной тайги Западной Сибири // Трешниковские чтения – 2019: Современная географическая картина мира и технологии географического образования: мат. IX Всероссийской научно-практической конференции. – Ульяновск, 2019. – С.58-59.