

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КРИОЛОГИИ ЗЕМЛИ

УДК 581.526:502.7(571.1)

DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2016-3(3-13)

**ОСОБЕННОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ
В ПРЕДЕЛАХ УЧАСТКОВ РАЗВЕВАЕМЫХ ПЕСКОВ
СЕВЕРОТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

О.С. Сизов, С.А. Лоботросова

*Институт криосферы Земли СО РАН,
625026, Тюмень, ул. Малыгина, 86, Россия; kabanin@yandex.ru, ravilova85@mail.ru*

В районах северной тайги Западной Сибири, несмотря на наличие крупных участков развеваемых песков, в настоящее время наблюдаются процессы затухания дефляции и тенденция естественного самовосстановления растительного покрова. В ходе исследований были рассмотрены причины образования песчаных арен, характер изменений климатических условий в нижнем течении р. Надым. Анализ материалов дешифрирования разновременных космических снимков и результатов полевых наблюдений позволил оценить динамику растительного покрова и песчаного микро рельефа в пределах котловин выдувания, широко распространенных в районе работ. На примере модельной котловины выдувания демонстрируются специфика восстановления растительности и механизм ее зарастания.

Западная Сибирь, климат, эоловые процессы, растительность, процессы промерзания – протаивания

**FEATURES OF REVEGETATION OF DRIFT SAND SITES
IN THE NORTHERN TAIGA SUBZONE OF WESTERN SIBERIA**

O.S. Sizov, S.A. Lobotrosova

*Earth Cryosphere Institute, SB RAS,
625026, Tyumen, Malygina str., 86, Russia; kabanin@yandex.ru, ravilova85@mail.ru*

Despite of the presence of large drift sand sites, the northern taiga areas of Western Siberia are currently experiencing a decrease in deflation processes and increase in self-regeneration of the vegetation cover. This paper discusses the drivers of the formation of sand arenas and analyzes the nature of changes in climatic conditions in the Nadym River downstream area. The results of interpretation of space images made at different times and field observations data allow assessing the vegetation cover and dune microrelief dynamics within the bounds of natural deflation basins widely developed in the study area. The particular characteristics and mechanisms of revegetation are demonstrated by the example of a model deflation basin.

Western Siberia, climate, aeolian processes, vegetation, freeze-thaw action

ВВЕДЕНИЕ

Тезис о “всюдном”, или повсеместном, развитии процессов эолового рельефообразования [Чичагов, 2004] можно подтвердить многообразием форм современного и древнего эолового рельефа в северотаежной подзоне Западной Сибири. Обширные песчаные раздувы, как характерный и неотъемлемый элемент криогенных ландшафтов, на протяжении последних ста лет являются объектом интереса и изучения для многих исследователей [Ивановский, 1939; Земцов, 1976; Величко, Тимирева, 2005; Соромотин, Сизов, 2007; Сизов, 2015].

Среди ведущих факторов, определяющих динамику процессов дефляции за последние десятилетия, можно выделить климатические изменения

и активное хозяйственное освоение территории, связанное с нарушением почвенного покрова.

Цель данной работы – выявление особенностей восстановления растительности в пределах участков развеваемых песков северотаежной подзоны Западной Сибири.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ

Объектом исследования являются многочисленные и многообразные формы эолового рельефа, широко распространенные в среднем течении р. Надым, которые соседствуют с участками нарушенного грунта и объектами антропогенного рельефа, образованными в результате строительства и

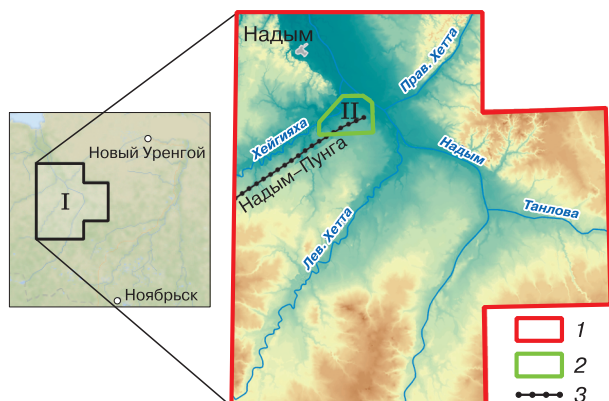


Рис. 1. Обзорная карта района работ.

1 – граница участка I; 2 – граница участка II; 3 – газопровод Надым–Пунга.

функционирования ряда крупных магистральных газопроводов (Надым–Пунга, Уренгой–Ужгород, Ямбург–Тула и др.). Эоловый рельеф морфологически выражен в основном котловинами выдувания, на поверхности и по периферии которых нередко формируются аккумулятивные формы (валы, бугры, дюнные цепи, барханы и др.). Техногенный рельеф представлен сухоройными карьерами, грунтовыми насыпями автодорог, трубопроводов и промышленных площадок, а также нарушенными в результате проезда тяжелой техники участками. Методически район работ включает два участка (рис. 1):

I – более обширный участок, включающий среднее течение р. Надым и водосбора р. Левая Хейгияха (площадь 17 500 км²). Здесь представлено все многообразие современного эолового рельефа в условиях северной тайги;

II – локальный участок, включающий правобережье р. Хейгияха (Лонгьюган) в нижнем течении (район Надымского стационара ИКЗ СО РАН, площадь 240 км²). Здесь расположены объекты детальных исследований: крупная модельная котловина выдувания, нарушенные участки вдоль магистрального газопровода, песчаные карьеры.

Для ретроспективного анализа состояния участков разведываемых 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 до прокладки газопроводов фиксируют снимки, полученные со спутника KH-4B 1104 от 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 2.0–2.5 м/пиксел.

Обзорное картирование участков разведываемых песков и региональный анализ естественных изменений (появление гарей, динамика водных объектов) 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. (<http://earthexplorer.usgs.gov>).

Детальное картирование ключевых участков выполнялось на основе снимков сверхвысокого разрешения (0.5–0.7 м/пиксел) со спутников WorldView-2 и Pleiades-1 (<https://maps.here.com>). Высокие геометрические и яркостные характеристики данных позволяют использовать их в качестве пространственной основы для интегрирования результатов полевых работ и детального картирования микрорельефа котловин выдувания.

В работе использовались методы визуального экспертного дешифрирования, основанные в том числе на дешифровочных признаках и эталонах перевеваемых и частично закрепленных растительностью песков, которые были установлены в 1960–1970-х гг. по результатам многочисленных полевых обследований и аналитической обработки аэрофотоснимков [Протасьева, 1967; Богомолов, 1976].

Полевые работы по изучению процессов восстановления растительности на антропогенно нарушенных участках были начаты Н.Г. Москаленко [1999] в 1972 г. после прокладки магистрального газопровода Надым–Пунга. Установлено, что в полосе отвода на вершинах минеральных бугров пучения образовались небольшие песчаные раздувы. В пределах раздувов были заложены площадки по 100 м², где сотрудниками ИКЗ СО РАН ежегодно выполнялись описания растительности, измерялась мощность сезонноталого слоя и температура пород в 10-метровых скважинах [Антропогенные изменения..., 2006]. Начиная с 2009 г. расширенным полевым отрядом ИКЗ СО РАН проводятся также комплексные исследования четвертичных отложений, микрорельефа, почв и растительности в пределах модельной котловины выдувания, расположенной вблизи устья р. Хейгияха.

Авторы присоединились к исследованиям в 2012 г. В ходе полевых работ 2013–2014 гг. были разбиты три геоботанические площадки и заложены два геоботанических профиля. Одна площадка и два профиля расположены в котловине выдувания вблизи устья р. Хейгияха, другие две площадки находятся вдоль газопровода Надым–Пунга. На профилях и площадках проводились описания и регистрировались изменения различных компонентов геосистем: растительности (определение обилия, встречаемости, покрытия, высоты видов

растений на 100 учетных площадках размером 0.1 м², зарисовка структуры по сетке 1 × 1 м), определение мощности и влажности сезонного слоя, измерение температуры почв на поверхности и на глубине 1.5 м. В ходе камеральных исследований составлены крупномасштабные карты растительного покрова и схемы температурного режима. В августе 2013 г. для уточнения морфометрических показателей микрорельефа была проведена детальная геодезическая съемка типичных участков котловины, а также установлены реперные марки для оценки локального переноса песчаного материала (рис. 2).

Анализ климатических изменений основан на результатах ежесуточных метеонаблюдений на станции Надым, доступных с незначительными перерывами с 1966 по 2013 г. через Автоматизированную информационную систему обработки режимной информации (АИСОРИ) (<http://aisori.meteo.ru/ClimateR>).

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Пространственное распределение эолового рельефа

Территория исследований, включающая среднее течение р. Надым, а также бассейны крупных притоков (Танлова, Хейгияха, Прав. Хетта и Лев. Хетта), отличается разнообразием и значительным распространением современного эолового рельефа на севере Западной Сибири. Песчаные поверхности хорошо контрастируют на фоне типичных тундрово-таежных ландшафтов, поэтому для их выделения использовались автоматические методы классификации с последующей визуальной корректировкой. В качестве исходных данных выбраны две сцены Landsat-7 от 3 августа 2001 г. (<http://earthexplorer.usgs.gov>). Из результатов дешифрирования были исключены сходные по спектру отражения участки-территории постоянных и временных поселений, прирусловые отмели, пляжи и участки, поросшие ягелем. Минимальная площадь дешифрируемого объекта ограничена значением 0.225 га.

В целом можно выделить следующие особенности распределения эолового рельефа:

- общая площадь развеваемых песков составляет 235.06 км² (1.34 % всей территории), из них 86.93% – эоловый рельеф естественного генезиса;
- большая часть современного эолового рельефа (88.3 %) локализована в высотных пределах от 19 до 65 м, при этом основной район распространения – дренированные террасы в среднем течении р. Надым. Площадь участков выдувания составляет здесь 134.4 км² (65.77 % площади);
- повсеместное развитие эоловых форм отмечается в долинах практически всех притоков Надыма: Прав. Хетта и Лев. Хетта, Танлова, Бол. Хуху, Хейгияха. Здесь преобладают небольшие



Рис. 2. Расположение реперов (1), профиля в пределах модельной котловины выдувания (2) и геоботанической площадки (3).

(площадью до 0.5–0.6 км²) западины и котловины выдувания, вытянутые цепочкой вдоль долин. Уменьшение размеров котловин, возможно, связано со снижением скоростей ветра и повышением уровня грунтовых вод;

– самый крупный участок природной дефляции имеет площадь 37.21 км². Он расположен на правом берегу р. Надым в 94 км к юго-востоку от г. Надыма и представляет собой цепь сомкнутых в результате ветровой эрозии котловин выдувания. Суммарная площадь пяти наиболее крупных дефляционных котловин составляет 77.66 км² (38 %);

– небольшие участки развеваемых песков (10.27 %) выявлены на высоких водораздельных пространствах между реками Надым и Пурпе, а также Надым и Левая Хетта. Границы абсолютных высот эоловых образований находятся здесь в пределах от 66 до 95.5 м, а перепады относительных высот – от 40 до 65 м;

– площадь нарушенных песчаных участков, возникших в результате воздействия антропогенных и природно-антропогенных факторов, составляет 30.72 км² (13.07 %). В основном нарушения

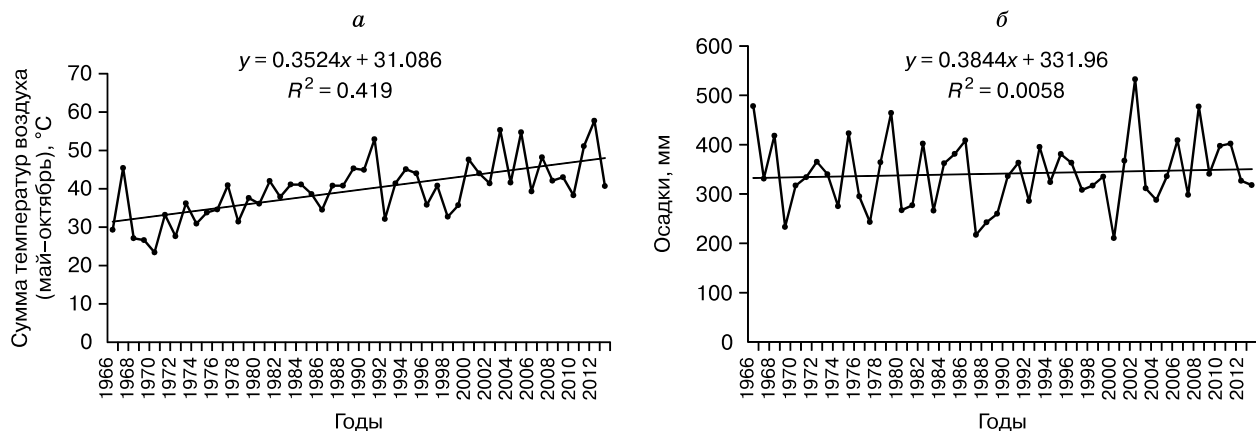


Рис. 3. Сумма температур воздуха за май–октябрь (а) и годовая сумма осадков (б) по данным метеостанции Надым.

локализованы вблизи объектов инфраструктуры транспортировки газа, вдоль автомобильных и железных дорог, по периферии поселений.

2. Анализ климатических изменений

Доступность исходных данных метеонаблюдений через систему АИСОРИ (<http://aisori.meteo.ru/ClimateR>) позволяет провести расширенный анализ климатических изменений, в частности, температуры воздуха, количества атмосферных осадков и среднегодовой скорости ветра.

Анализ среднемесячной температуры воздуха за теплый период года показывает, что за последние 50 лет наметилась устойчивая тенденция к потеплению – сумма средних температур воздуха (май–октябрь) выросла в среднем на $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 3, а), при этом средняя температура мая с 1988 г. принимает положительные значения для большинства лет наблюдений. Средняя температура воздуха за октябрь также существенно выросла (с -6 до $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Среднегодовое количество осадков, несмотря на высокую амплитуду значений, в среднем выросло на 50 мм (см. рис. 3, б), при этом рост отмечается для зимнего периода, а осадки с мая по октябрь практически не изменились. Можно отметить, что для осадков характерны значительные межгодовые вариации.

Значения средних скоростей ветра выросли примерно с 3.5 м/с в 1966 г. до 4 м/с в 2010 г., при этом с 1984 г. наблюдаются стабилизация показателей и небольшой тренд в сторону уменьшения.

3. Анализ разновременных дистанционных данных

Анализ космических снимков за довольно продолжительный период (1968–2014) позволяет выделить в пределах территории исследований основные современные процессы эолового рельефо-

образования, среди которых изменение площади котловин выдувания (положительные и отрицательные), периодические подтопления отдельных участков вследствие изменения уровня грунтовых вод и связанные с этим процессы естественного возобновления растительного покрова.

Изменение площади можно наглядно показать 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, показывает, что за 44 года произошло незначительное расширение границ в восточном (1) и южном (2) направлениях (рис. 4). Это согласуется с направлениями преобладающих ветров. Аккумулятивный песчаный вал переместился на расстояние до 30 м (1, 2), в то же время с западной стороны (3) наблюдается сокращение площади развеваемых песков (см. рис. 4). Ширина полосы образовавшейся устойчивой растительности составляет 20–30 м. 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) (см. рис. 4). Образование небольших искусственных арен выдувания в результате подобных локальных воздействий широко распространено на рассматриваемой территории.

Крупные котловины выдувания, расположенные вдоль р. Надым, находятся в зоне с переменным уровнем грунтовых вод. Недостаток увлажнения, с одной стороны, препятствует заболачиванию и развитию растительности; с другой стороны, в маловодные для Надыма годы на их поверхности складываются условия недостатка влаги, что в свою очередь способствует развитию дефляции. Ситуацию переменного увлажнения

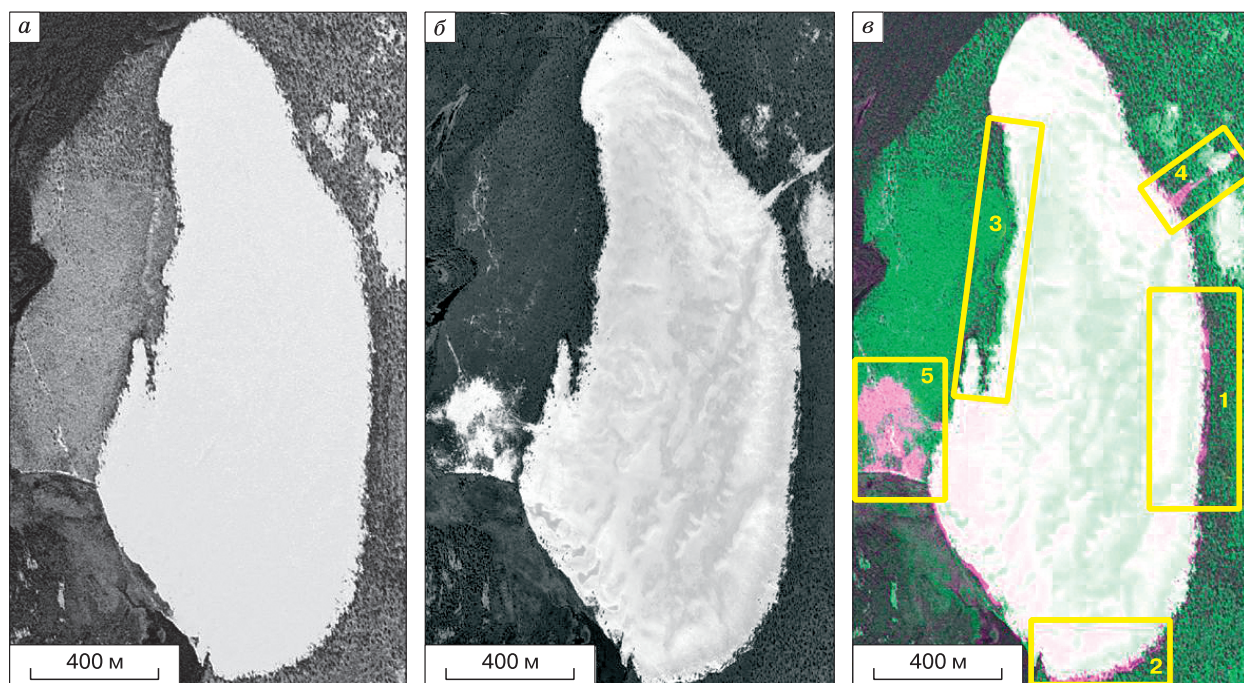


Рис. 4. Изменение котловины выдувания:

a – космический снимок КН-4В, 1968 г. (<http://earthexplorer.usgs.gov>); *б* – космический снимок WorldView-2, 2012 г. (<https://maps.here.com>); *в* – разновременный композит снимков; 1 – восток, 2 – юг, 3 – запад, 4 – северо-восток, 5 – база геофизической партии.

можно показать на примере крупного ($S = 5.7 \text{ км}^2$) песчаного раздува, расположенного в 7 км к югу

от устья р. Танлова, правого притока р. Надым (рис. 5).

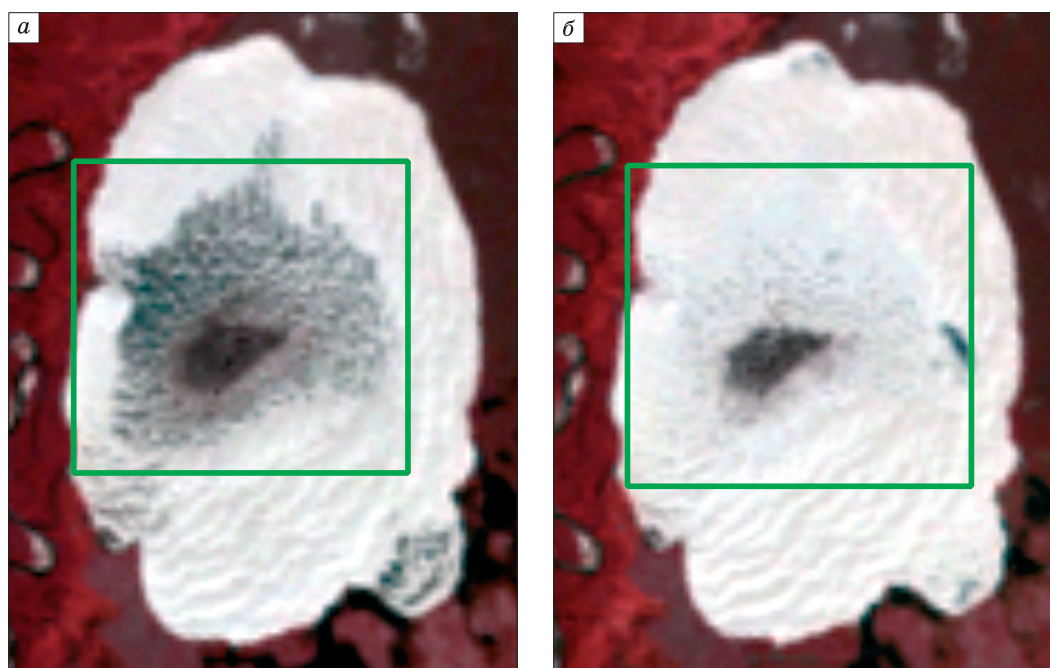


Рис. 5. Сезонное подтопление котловины выдувания по космическим снимкам Landsat-5:

a – 2 июля 1987 г.; *б* – 5 июля 1988 г. (<http://earthexplorer.usgs.gov>).

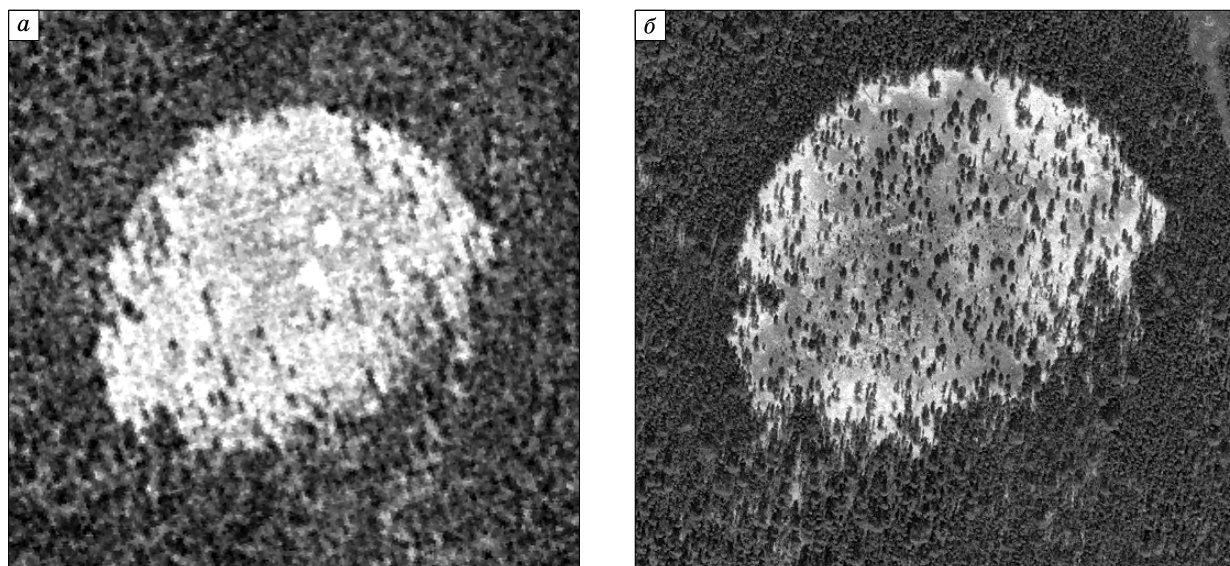


Рис. 6. Зарастание котловины спущенного термокарстового озера:

a – космический снимок КН-4В, 1968 г. (<http://earthexplorer.usgs.gov>); *б* – космический снимок WorldView-2, 2014 г. (<https://maps.here.com>).

На снимке 1987 г. явно выделяется подтопление в центральной и юго-восточной части, в то время как уже на следующий 1988 год фиксируется снижение уровня грунтовых вод, и перевеваемые пески занимают всю поверхность раздува, за исключением небольшого островка растительности в центре (см. рис. 5). Вероятно, уровень грунтовых вод и условия дренирования в наибольшей степени определяют процессы роста или сокращения котловин.

Для выровненных участков первой и второй надпойменных террас р. Надым, покрытых сосново-лишайниковыми редколесьями, характерно большое количество термокарстовых озер. Анализ снимков показывает, что для подобных озер нередки случаи осушения, в результате чего образуются песчаные котловины, потенциально подверженные ветровому воздействию. Тем не менее за период мониторинга для подобных участков спущенных озер повсеместно отмечается естественное возобновление растительности. Первоначально формируется сплошной лишайниковый покров, способствующий аккумуляции влаги, после чего происходит активное развитие подроста сосны. В качестве иллюстрации процесса зарастания можно привести пример небольшой котловины спущенного термокарстового озера, расположенной вблизи Надымского стационара (рис. 6). По состоянию на 1968 г. на поверхности котловины можно выделить практически сплошной лишайниковый покров, различимы только два песчаных участка в центральной части. К 2014 г. вся котловина покрыта лишайниками, наблюдается есте-

ственное развитие соснового редколесья, хорошо различимого при высокодетальной съемке.

Необходимо также отметить, что на территории исследования по снимкам Landsat выделяются большие площади лесов, пройденных лесными пожарами. Несмотря на частичное уничтожение древесной растительности, на участках гарей не наблюдается сколько-нибудь значимого развития дефляции. Тем не менее вопрос естественного восстановления растительности на гарях требует отдельного рассмотрения и выходит за рамки данной работы.

4. Анализ растительности

Детальный анализ динамики растительного покрова выполнялся на примере модельной котловины выдувания, расположенной вблизи устья р. Хейгияха. Общая площадь котловины составляет 193,7 га, периметр 6450 м. Котловина имеет вытянутую форму по направлению с севера на юг. С северной, западной и южной сторон котловину окаймляют аккумулятивные песчаные валы высотой от 4 до 12 м. Наибольшая высота валов с южной стороны. С восточной стороны песчаные отложения перекрывают первую террасу р. Надым. Минимальное расстояние до реки составляет 2,4 км. На поверхности котловины сформировались протяженные песчаные гряды, сходные по строению с классическими дюнами. Высота гряд составляет в среднем 1,5–2,0 м, достигая максимальных значений (более 4 м) в южной части. Дюнные гряды движутся по поверхности, сложенной плотным аллювием и осложненной полиго-

нальной сетью древних морозобойных трещин и следами мерзлотного пучения. Ориентировка дюн показывает, что их формирование происходит под воздействием северных и северо-западных ветров. В южной части котловины расположен функционирующий песчаный карьер, в северо-западной части находится промышленная площадка действующего водозабора.

Сравнение описаний растительного покрова, выполненных в 2009, 2012, 2013 и 2014 гг., позволяет выделить несколько зон с различными условиями и степенью зарастания. Так, в центральной части котловины происходит активное перемещение песчаного материала – с 1968 по 2012 г. дюны переместились на расстояние до 40 м (рис. 7). Поэтому здесь отмечается самая низкая степень проективного покрытия (СПП) – 10–20 %.

Для мониторинга процесса зарастания в центральной части был заложен геоботанический профиль (рис. 8).

Исследования показывают, что на дне котловины при обнажении древней породы прорастают мох политрихум торчащий (*Polytrichum strictum*), затем вейник Лангсдорфа (*Calamagrostis langsdorffii*) и овсяница овечья (*Festuca ovina*), к ним при-

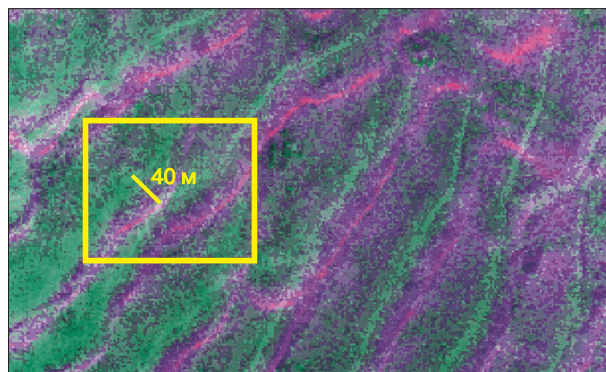


Рис. 7. Перемещение продольных дюн по поверхности котловины на разновременном композите снимков КН-4В, 1968 г. и WorldView-2, 2012 г.

соединяются пижма дваждыперистая (*Tanacetum bipinnatum*) и щавель злаколистный (*Rumex graminifolius*). На наветренных склонах нет растительности, на подветренных закрепляется сначала вейник Лангсдорфа (*Calamagrostis langsdorffii*), затем овсяница овечья (*Festuca ovina*), пижма

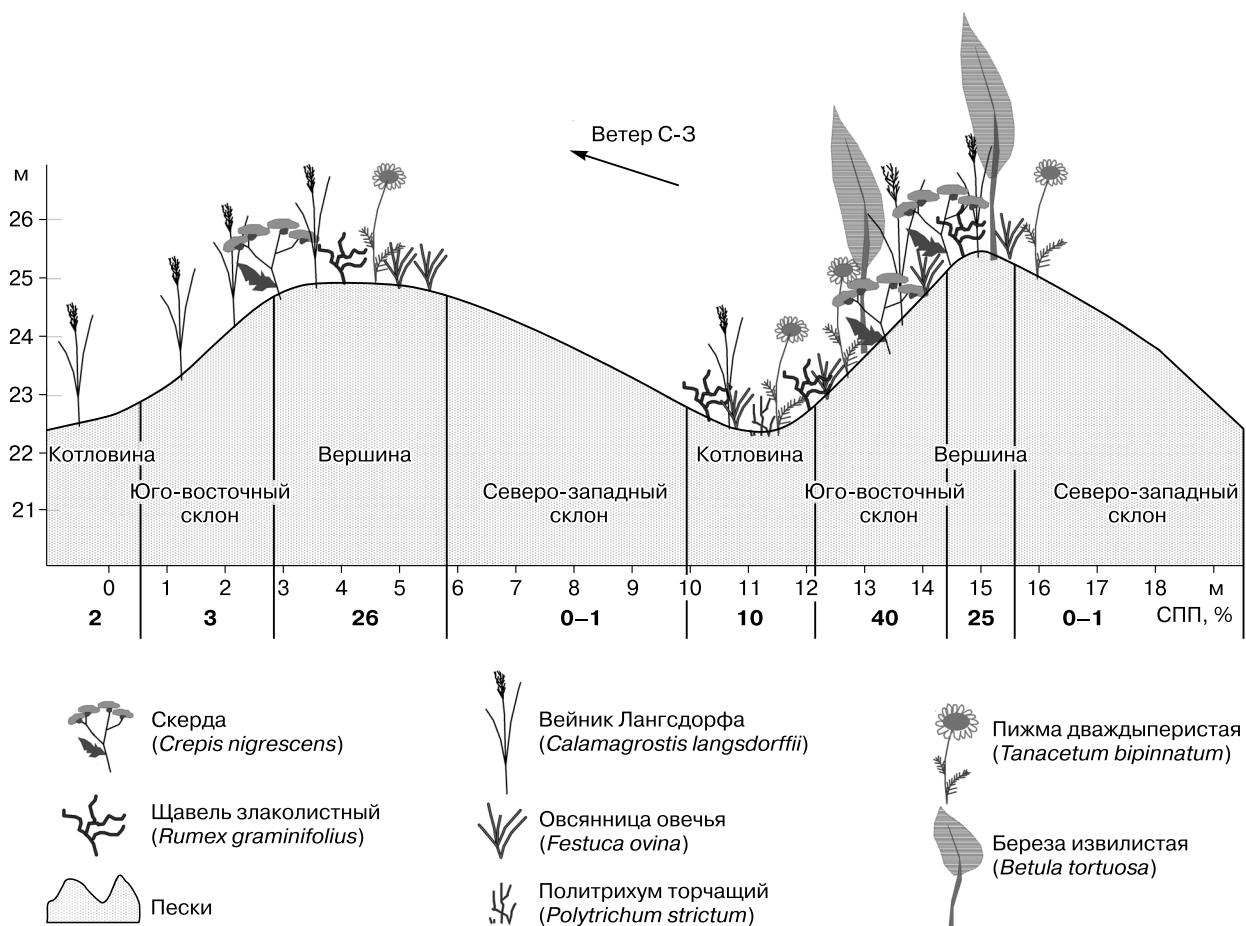


Рис. 8. Геоботанический профиль в пределах модельной котловины выдувания.

Таблица 1. Характеристика рельефа, количества видов и степени проективного покрытия растительности дюн в 2013–2014 гг.

Локализация участков в пределах дюны	Количество видов	Проективное покрытие, %
Котловина	5	2–10
Вершина	6	25
Наветренный склон	1	0–1
Подветренный склон	6	40

дваждыперистая (*Tanacetum bipinnatum*), щавель злаколистный (*Rumex graminifolius*), скерда черноватая (*Crepis nigrescens*), также могут встречаться береза извилистая (*Betula tortuosa*) и сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*). На вершинах закрепляются такие же растения, как и на подветренных склонах, но проективное покрытие их уже выше, а деревья встречаются чаще (табл. 1).

В восточной части вдоль границы с поймой р. Надым происходит переувлажнение и зарастание песков пойменной растительностью. Здесь встречается 10 видов растительности (табл. 2).

Западная часть котловины активно зарастает подростом из березы извилистой (*Betula tortuosa*) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*), а также лиственницей сибирской (*Lárix sibírica*) и кедром сибирским (*Pínus sibírica*). На вершине аккумулятивного вала вдоль границы с лесом можно встретить кусты можжевельника обыкновенного (*Juníperus commúnis*). Всего на данной пробной площадке встречается девять видов растений.

По северной границе наблюдаются активное накопление песчаного материала и погребение отдельных деревьев. В результате выноса песка в некоторых местах образуются останцы растительности, скрепляемые корневой системой кедра сибирского (*Pínus sibírica*). Здесь встречается восемь видов растений.

В южной части котловины в настоящее время ведутся работы по добыче песка. Отработанные участки карьера активно зарастают подростом из сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*), лиственницы сибирской (*Lárix sibírica*), березы извилистой (*Betula tortuosa*). Всего на данной пробной площадке встречается пять видов растений.

В юго-восточной части по периферии наблюдаются накопление песка и погребение отдельных деревьев. Высота аккумулятивных валов достигает 8–10 м. Скорость аккумуляции можно показать на примере реперного пункта, установленного на одном из деревьев. За первый же год наблюдений (2013/14) репер оказался засыпан песком на 23 см (рис. 9). При этом выноса песчаного материала за пределы котловины практически не происходит.

К северо-западу от котловины выявлены два аккумулятивных вала, полностью закрепленных растительностью. Валы покрыты лишайником –

Таблица 2. Список видов и степень проективного покрытия растительности, отмеченных при обследовании пробных площадей

Вид	Пробные площади и их локализация в пределах котловины			
	№ 1, юг	№ 2, север	№ 3, запад	№ 4, восток
Вейник Лангсдорфа (<i>Calamagrostis langsdorffii</i>)		+	+	+
Овсяница овечья (<i>Festuca ovina</i>)	+	+	+	+
Пижма дваждыперистая (<i>Tanacetum bipinnatum</i>)		+	+	+
Скерда черноватая (<i>Crepis nigrescens</i>)		+	+	+
Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i>)	+	+	+	
Кедр сибирский (<i>Pinus sibírica</i>)		+	+	
Береза извилистая (<i>Betula tortuosa</i>)	+	+	+	+
Лиственница сибирская (<i>Lárix sibírica</i>)	+		+	
Политрихум торчащий (<i>Polytrichum strictum</i>)	+			+
Можжевельник обыкновенный (<i>Juníperus commúnis</i>)			+	
Щавель злаколистный (<i>Rumex graminifolius</i>)		+		+
Сабельник (<i>Cómarum palústre</i>)				+
Сфагнум (<i>Sphágnum</i>)				+
Стрелолист (<i>Sagittária</i>)				+
Всего видов	5	8	9	10
Проективное покрытие, %	60	15	40	20–30

кладонией альпийской (*Cladonia alpestris*), который является одним из индикаторов зарастания оголенных песков. Здесь также присутствуют типичные лесные сообщества. На вершине вала произрастают такие виды, как береза извилистая (*Betula tortuosa*) и сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), лиственница сибирская (*Lárix sibírica*), кедр сибирский (*Pínus sibírica*). В надпочвенном покрове кроме кладонии присутствуют также толкнянка альпийская (*Arctostaphylos alpina*), брусника (*Vaccínium vítis-idaéa*), вороника (*Émpetrum*). На склоне преобладают сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), кедр сибирский (*Pínus sibírica*), брусника (*Vaccínium vítis-idaéa*), политрихум торчащий (*Polytrichum strictum*). В котловине между валами растет багульник болотный (*Lédum palústre*), черника (*Vaccínium myrtillus*), голубика (*Vaccínium uliginósum*), брусника (*Vaccínium vítis-idaéa*), подрост из сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*), лиственницы сибирской (*Lárix sibírica*), кедра си-

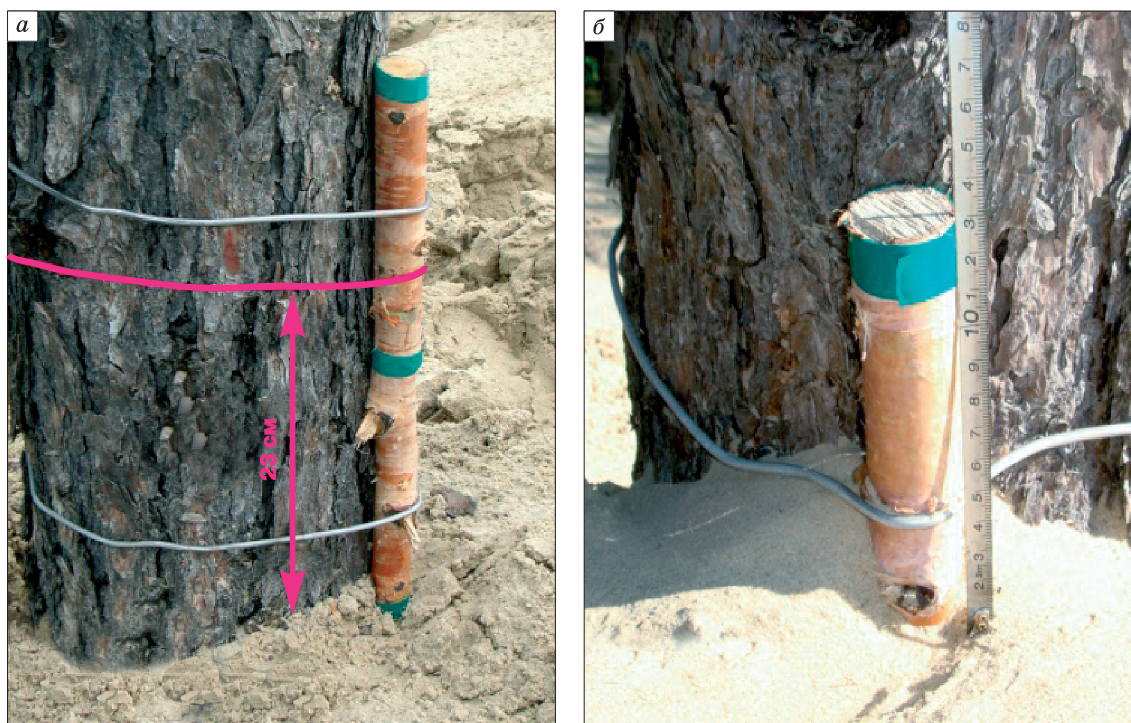


Рис. 9. Аккумуляция песка в южной части модельной котловины выдувания.

a – 2013 г.; *б* – 2014 г. (фото С.А. Лоботросовой).

бирского (*Pinus sibirica*), или сибирской (*Picea obovata*).

К северу от котловины выявлен небольшой участок сгоревшего леса, на котором происходит интенсивное зарастание с большим разнообразием видов.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Нарушения почвенно-растительного покрова, приводящие к формированию песчаных арен, в настоящее время связаны с антропогенной деятельностью. Наиболее хорошо изучены процессы естественного восстановления растительности на

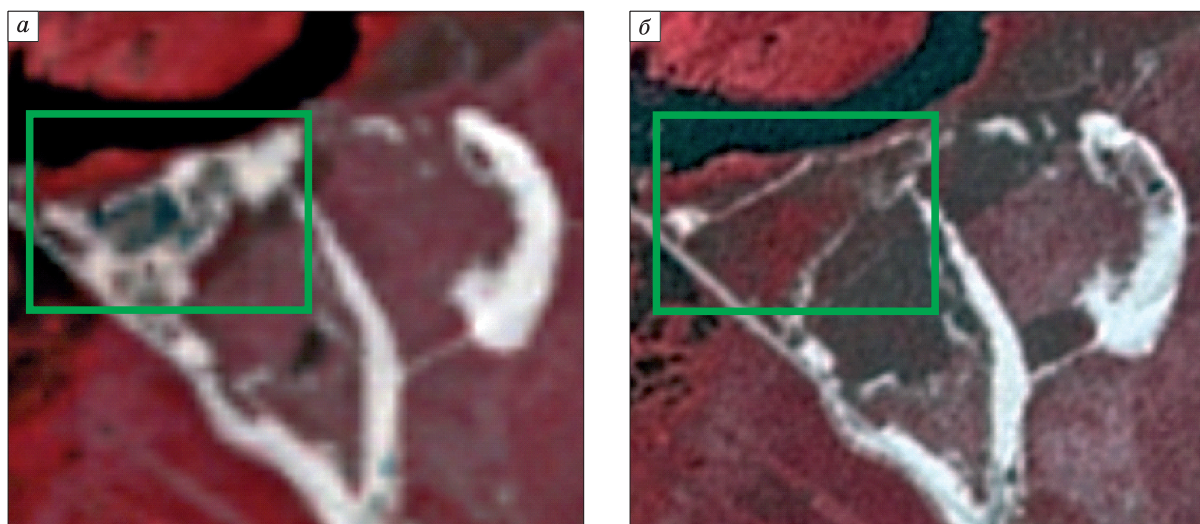


Рис. 10. Зарастание песчаного карьера по космическим снимкам:

a – Landsat-5 от 5 июля 1988 г.; *б* – Landsat-7 от 3 августа 2001 г. (<http://earthexplorer.usgs.gov>).

песчаных карьерах в средней и северной тайге Западной Сибири [Шилова, 1977; Коронатова, 2003; Коркина, 2005]. В сходных условиях их можно рассматривать в качестве искусственных аналогов первичных котловин выдувания.

Заращение карьеров происходит в среднем от 5 до 18 лет. И.И. Шилова [1977] выделяет четыре стадии восстановления растительности.

1. Стадия единичных травянистых растений-пионеров, а также проростки сосны, березы и экологических группировок в первые 1–2 года.

2. Образование открытых фитоценозов на 3–4-й год.

3. Образование сомкнутых фитоценозов на 5–8-й год.

4. Формирование замкнутых фитоценозов зонального типа на 9–12-й год.

Заращение карьеров всегда начинается с более увлажненных территорий. Аналогично в котловинах выдувания в первую очередь зарастают увлажненные междунные понижения. Общими влаголюбивыми видами являются политрихум торчащий (*Polytrichum strictum*), овсяница овечья (*Festuca ovina*) и вейник Лангсдорфа (*Calamagrostis langsdorffii*).

Далее уже на защищенных склонах карьера образуется маломощная травянистая растительность, которая становится препятствием для развития дефляции. Наветренные склоны остаются без растительности. Подветренные начинают покрываться овсяницей овечьей (*Festuca ovina*) и вейником Лангсдорфа (*Calamagrostis langsdorffii*), к ним присоединяется пижма дваждыперистая (*Tanacetum bipinnatum*), береза извилистая (*Betula tortuosa*).

Н.Г. Коронатова [2003] установила, что для травяного зарастания карьеров определяющим фактором является близкое залегание к поверхности грунтовых вод. При глубоком залегании происходит развитие лесного фитоценоза: на песчаном грунте поселяется береза, на песках – сосна. Успешному зарастанию в целом способствуют тяжелый гранулометрический состав молодых почв, обогащение элементами питания, меньший угол наклона борта карьера и скрепление поверхности песка мхом.

На примере модельной котловины выдувания по дистанционным данным видно, что активный в 1988 г. карьер, расположенный в 1 км к западу, уже в 2001 г. полностью зарастает (рис. 10). В настоящее время происходит зарастание отработанной поверхности действующего карьера в южной части котловины.

В то же время исследования, проведенные Н.Г. Москаленко [1999] вдоль газопровода Надым–Пунга, показали, что на участках строительства по причине эолового переноса, термокарста и дефляции (а для холмистых участков и прибор-

очных частей террас также из-за развития эрозийных процессов) за 17 лет в различных пикетах первоначальная площадь нарушений возросла с 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.

Если расширить географию сравнительного анализа, то можно утверждать, что во многих районах северных и умеренных широт сейчас отмечаются тенденции сокращения площадей перевеваемых песков.

Так, постепенное естественное зарастание тунгуланов (оголенных песков) наблюдается в настоящее время также в Якутии, где основной причиной этого считается изменение климатических условий в сторону потепления и роста влажности [Журкова и др., 2012].

Сокращение песков происходит и в Забайкалье, где Н.А. Дулепова [2014] выделила следующие стадии зарастания:

- 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.

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

ВЫВОДЫ

По результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы.

1. Современный эоловый рельеф довольно широко представлен на рассматриваемой территории. Морфологически эоловый рельеф выражен в виде дефляционных котловин выдувания, которые могут осложняться продольными дюнами на поверхности и аккумулятивными валами по периферии.

2. Климатические условия в целом не способствуют развитию дефляции. Анализ метеоданных

показал, что с 1966 г. наблюдается рост средних температур, наиболее выраженный в переходные сезоны года (температуры мая и октября принимают преимущественно положительные значения с 2002 г.). Отмечается также незначительный рост осадков и уменьшение среднегодовых скоростей ветра.

3. Среди естественных участков, где возможно образование первичных арен выдувания, выделяются котловины осушенных термокарстовых озер и районы лесных пожаров. Анализ разновременных космических снимков с 1968 г. показывает, что для осушенных котловин озер характерно развитие лишайникового покрова и подроста древесных пород сосны и кедра. На участках лесных пожаров не выявлено случаев образования новых раздувов или расширения существующих, на большинстве изученных территорий гарей происходит естественное лесовосстановление.

4. Для отдельных крупных котловин выдувания характерно формирование и перемещение по поверхности продольных дюн (около 1 м/год), а также аккумуляция песка по периферии с северной, восточной и южной сторон (более 20 см/год). Кроме того, для котловин характерен переменный режим увлажнения – от подтопления до полного осушения. По-видимому, данные условия (постоянное перемещение песчаного материала и переменная влажность) препятствуют полному зарастанию котловин в настоящее время.

5. Механизм зарастания котловин выдувания во многом аналогичен процессу восстановления растительности на поверхности сухоройных карьеров, расположенных в сходных условиях. При повышенном уровне грунтовых вод происходит возобновление травяного покрова, при низком – постепенное восстановление лесного фитоценоза. В первую очередь зарастают локальные понижения, хуже всего закрепляются наклонные участки (стенки карьера, склоны котловины).

В целом можно отметить, что для северотаежной подзоны Западной Сибири в настоящее время характерны условия затухания дефляции и преобладания тенденции естественного восстановления растительности. Тем не менее существование крупных котловин выдувания свидетельствует об относительно недавней смене тренда. Поэтому в районах активного антропогенного воздействия необходимы мониторинг и контроль нарушенных территорий, а для промышленных объектов, выводимых из эксплуатации (отработанных карьеров), обязательна процедура проведения биологической рекультивации – закрепления растительностью оголенных песков.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства ЯНАО (грант № 16-45-890529p_a).

Литература

- Антропогенные** изменения экосистем Западно-Сибирской газонной провинции / Н.Г. Москаленко, А.А. Васильев, С.Н. Гашев и др. М., ИКЗ СО РАН, 2006, 358 с.
- Богомолов Л.А.** Дешифрирование аэроснимков / Л.А. Богомолов. М., Недра, 1976, 144 с.
- Величко А.А., Тимирева С.Н.** Западная Сибирь – великая позднеледниковая пустыня // Природа, 2005, № 5, с. 54–62.
- Дулупова Н.А.** Флора и растительность развееваемых песков Забайкалья: Дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2014, 203 с.
- 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.
- Земцов А.А.** Геоморфология Западно-Сибирской равнины (северная и центральная части) / А.А. Земцов. Томск, Изд-во Том. ун-та, 1976, 344 с.
- Ивановский Л.Н.** Геоморфологические наблюдения в долинах рек Казыма и Надыма // Тр. Том. ун-та. Томск, 1939, 95 с.
- Коркина Е.А.** Почвы и техногенные поверхностные образования нефтегазодобывающего комплекса правобережья Средней Оби: Дис. ... канд. геогр. наук. Нижневартовск, 2005, 163 с.
- Коронатова Н.Г.** Особенности и условия восстановления почвенно-растительного покрова на карьерах Западной Сибири // Вестн. Том. ун-та. Прил. № 7. Томск, 2003, с. 135–141.
- Миронова С.И.** Техногенные сукцессионные системы растительности Якутии (на примере Западной и Южной Якутии) / С.И. Миронова. Новосибирск, Наука, 2000, 152 с.
- Москаленко Н.Г.** Антропогенная динамика растительности равнин криолитозоны России / Н.Г. Москаленко. Новосибирск, Наука, 1999, 280 с.
- Протасьева И.В.** Аэрометоды в геоэкологии / И.В. Протасьева. М., Наука, 1967, 196 с.
- Сизов О.С.** Геоэкологические аспекты современных эоловых процессов северотаежной подзоны Западной Сибири / О.С. Сизов. Новосибирск, Акад. изд-во "Гео", 2015, 124 с.
- Соромотин А.В., Сизов О.С.** Активизация эоловых процессов на севере Западной Сибири в связи с возросшим антропогенным воздействием // Пробл. регион. экологии, 2007, № 4, с. 12–15.
- Сумина О.И.** К анализу разнообразия растительности карьеров (На примере карьеров севера Западной Сибири) // Освоение севера и проблемы рекультивации: Докл. III Междунар. конф. (Сыктывкар, 27–31 мая 1997 г.). Сыктывкар, 1997, с. 76–87.
- Чичагов В.П.** Всюдность и уникальность эолового рельефообразования // Проблемы устойчивого развития в современной географической науке и образовании. Томск, Изд-во Том. ун-та, 2004, с. 29–40.
- Шилова И.И.** Первичные сукцессии растительности на техногенных песчаных обнажениях в нефтегазодобывающих районах Среднего Приобья // Экология, 1977, № 6, с. 5–14. <http://aisori.meteo.ru/ClimateR/АИСОРИ> (дата обращения: 05.04.2015). <http://earthexplorer.usgs.gov/USGS EarthExplorer> (дата обращения: 05.04.2015). <https://maps.here.com/> Here maps (дата обращения: 05.04.2015). NASA NSSDC Master Catalog. URL: <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftOrbit.do?id=1968-065A> (дата обращения: 05.04.2015).

Поступила в редакцию
11 июня 2015 г.