

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ

### ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОЧАГОВ ДЕФЛЯЦИИ НА ТЕРРИТОРИИ НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

© 2024 г. В. Г. Юферев<sup>1</sup> \*, К. Н. Кулик<sup>1</sup>, А. М. Пугачева<sup>1</sup>, В. А. Гушин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное научное учреждение “Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук”, Волгоград, Россия

\*E-mail: yuferev@vfanc.ru

Поступила в редакцию 01.02.2024 г.

Геоинформационная оценка процессов дефляции в условиях Арктики позволяет перейти на новый технологический уровень в планировании лесомелиоративного обустройства ландшафтов арктической зоны. Использование лесомелиорации и фитомелиорации аккумулятивных форм дает возможность управления процессами опустынивания. Для реализации цели исследования – оценки пространственного распределения участков дефлированных поверхностей на территории Ненецкого автономного округа был проведен геоинформационный анализ актуальных данных космического зондирования и выявлена степень деградации (дефляции и антропогенной трансформации) территории на контролируемых площадях, на базе которого предлагаются необходимые мероприятия для предотвращения дефляции земель и планируется создать информационную систему мониторинга и прогноза состояния почвенного и растительного покрова. Дешифрирование космоснимков участков дефляции на территории исследований позволило разработать векторные картографические слои ГИС, на которых представлены выделенные береговые, континентальные незаросшие и заросшие массивы. Проведенная геоморфологическая дифференциация участков дефляции дает возможность эффективно использовать такие параметры, как яркость, экспозиция, мезо- и микроклиматические различия, а также планировать противодефляционные мероприятия. Разработаны векторные картографические слои пространственного распределения песчаных аккумулятивных форм и определены их морфометрические характеристики, установлены особенности развития континентальной и береговой дефляции, площади которой составляют 31.51 и 20.86 тыс. га соответственно, общее количество выделенных векторными контурами участков превышает 166 тыс., а их размеры изменяются от 0.001 га до более чем 5.5 тыс. га. В результате пространственной оценки заросших растительностью 68 крупных песчаных массивов установлена их площадь, составляющая 543.85 тыс. га.

*Ключевые слова:* космоснимки, дешифрирование, анализ, дефляция, песчаный массив

DOI: 10.31857/S0205961424040033, EDN: EMHLWQ

#### ВВЕДЕНИЕ

Современные методы исследования поверхности Земли на основе данных спутниковой съемки с использованием геоинформационных технологий позволяют создавать базы пространственных данных и геоинформационные картографические слои с учетом тематической направленности исследований (Tsvetkov, 2012). В связи с ростом экономического значения регионов Арктики и ростом антропогенной нагрузки (Репкина, 2022) выявление пространственного распределения очагов дефляции в Арктической зоне обеспечивает экологически обоснованное проведение территориального планирования ее хозяйственного освоения. На основе классификации пространственного

распределения эоловых форм в естественных и антропогенных условиях по данным дистанционного зондирования, показано, что эоловые формы чаще всего формируются на участках с повышенной проницаемостью (Сизов и др., 2022), что характерно для песчаных массивов Арктической тундры, особенно в весенне-летний период.

Экологической особенностью Арктических регионов является высокая уязвимость ландшафтов и низкая восстановительная способность природных экосистем, связанная с природно-климатическими особенностями арктических территорий, такими как мерзлота и незначительное оттаивание верхнего слоя (до 1 м), низкие зимние температуры и др. Здесь отмечаются интенсивные морфологические изменения ландшафтных объектов, в том

числе увеличение площади открытых песков и снижение проективного покрытия при антропогенном воздействии. Показана необходимость мероприятий по сохранению и восстановлению экосистем и рационального использования уникальных арктических территорий в ходе хозяйственной деятельности (Бондур, 2015).

Исследования процессов дефляции необходимо для предотвращения их негативного воздействия как на природные ландшафты, так и на ведение хозяйственной деятельности. Одной из задач при этом является выявление связи региональных условий на развитие эоловых процессов и пространственную локализацию эоловых наносов, и их характеристики. Изучение процессов деградации песчаных земель показало, что природные факторы на территории региона способствуют развитию эоловых процессов и особенно в условиях антропогенной трансформации ландшафтов (Евсеева, 2020).

Важным фактором, определяющим параметры эолового переноса, является взаимодействие воздушного потока с песчаными частицами в условиях их несвязности в весенне-летний период. Связанность частиц песка обуславливает повышение стабильности эоловых форм при воздействии с воздушным потоком. Связанность песка приводит к увеличению критической скорости ветра, необходимой для отрыва частиц песка. Этот эффект поясняет причину возрастания массы песчаных комков и увеличения критической скорости их отрыва. Дифференциация морфологии эоловой формы рельефа по участкам с различными условиями позволяет провести оценку объема возможного эолового переноса (Малиновская, 2019). Такой эффект наблюдается в холодное время года, когда песчаные массивы фиксируются мерзлотой.

Одним из факторов, позволяющим объяснить сложившиеся условия функционирования песчаных массивов при изучении генезиса образования эоловых форм в Арктической зоне, является факт того, что формирование мощной толщи песчаных отложений субквального характера, в том числе и на высоких гипсометрических уровнях, может быть связано как с выносом большого количества осадочного материала течением реки Печора, так и гляциологическими процессами (Аржанникова, 2014).

Цель исследований: оценка распределения очагов дефляции на территории Ненецкого автономного округа. Климатические условия Ненецкого автономного округа обусловлены морским характером климата, долгим периодом заморозков, низкими температурами зимой, продолжительным ледоставом и атмосферными осадками, которые оказывают непосредственное влияние на

почвенные процессы с образованием постоянного мерзлотного грунта (Горячкин, 2022). Пески, залегающие на территории арктической зоны на территории Ненецкого автономного округа, распространены в виде покровов рыхлых отложений и могут достигать мощности до 250 м. Наличие мерзлоты, при отсутствии сплошного растительного покрова, способствует формированию дефляционных понижений и аккумулятивных форм рельефа, сложенных эоловыми наносами (De Vries S., 2014). Дефляция песков в настоящее время приводит к открытию песчаных площадей и проходит за счет развевания озерных песчаных отложений, песчаных морских террас и древних гряд (Tamura, 2016). При общей стабилизации континентальных песчаных массивов на территории исследований наблюдается развитие береговой дефляции и дефляции открытых песков при антропогенном воздействии (Badyukova, 2015). В результате исследований на основе космоснимков разработана локальная геоинформационная система песчаных аккумулятивных форм, включающая векторные карты участков заросших и открытых песков, характерных для континентальной части территории исследований и участков береговой дефляции.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При определении степени развития дефляции песчаных массивов в соответствии с «Национальным стандартом РФ ГОСТ Р 70526-2022 “Мелиорация земель. Почвы. Оценка степени деградации”» рассматривают дефлированные или открытые участки с проективным покрытием менее 10%, заросшие (закрепленные) растительностью с проективным покрытием более 70% и зарастающие с проективным покрытием от 10 до 70%.

Применение геоинформационных технологий для анализа актуальных данных космического зондирования поверхности Земли дает возможность выявить участки дефляции на контролируемых площадях, создать систему мониторинга и прогноза состояния почвенного и растительного покрова, обосновать мелиоративные технологии предотвращения дефляции (Юферев и др., 2023).

Выделение участков открытых песков, лишенных растительности и в первую очередь подверженных дефляции на территории Ненецкого автономного округа, проведено с использованием актуальной космической съемки высокого разрешения спутников Канопус 2В, Landsat 8, 9 и архивных снимков сверхвысокого разрешения спутника WorldView 3. На основе дешифрирования полученных цветосинтезированных по каналам RGB изображений установлено современное распределение и проведена векторизация границ участков

дефляции как в прибрежной зоне, так и в континентальной части (Кулик и др., 2020).

Геоинформационное картографирование геоморфологических форм и типов проводится для определения их морфометрических характеристик с использованием космоснимков сверхвысокого разрешения и цифровых моделей рельефа Aster GDEM, охватывающих территории севернее широты 60°. Выделяемые объекты определяются в результате предварительной проработки данных путем векторизации изолиний высот (Чупина, 2016).

Аккумулятивные формы континентальной части возникли в результате эоловой деятельности. Она проявляется в песчаных наносах и образует различные аккумулятивные типы рельефа. Эоловый рельеф и процессы дефляции в Арктической зоне с учетом антропогенного воздействия изучены в зависимости от динамики береговой линии в береговой зоне (Репкина., 2022). Установлено, что нарушение рельефа и растительности усиливают эоловый вынос из береговой зоны. При этом в условиях отрицательного или сбалансированного объема наносов на прибрежных террасах возросла интенсивность дефляции, а в условиях избытка наносов – эоловой аккумуляции (Гаель, Смирнова, 1999). Для континентальной части суши рассматриваемой территории выделяют два основных

типа песчаного рельефа грядовый и бугристый. Бугристые пески представляют собой беспорядочные сочетания песчаных бугров высотой 3–5 метров и разделяющих их котловин выдувания. Чаще всего эти пески покрыты древесно-кустарниковой и травянистой растительностью. Сочетание горизонтального движения ветра с резкими восходящими и нисходящими потоками воздуха вызывает одновременно дефляцию, перенос, аккумуляцию и корразию. Этим объясняются выходы в песчаных отложениях коренных пород, наличие возвышенных участков и котловин выдувания.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для анализа распределения очагов дефляции по данным дистанционного зондирования разработана локальная ГИС, включающая слои пространственного размещения участков дефляции (рис. 1). Выполненный анализ (табл. 1) показал, что береговая дефляция занимает 0.12%, а континентальная дефляция 0.31% от континентальной площади Ненецкого автономного округа (17047006 га), а общая площадь дефлированных участков равна 58280 га или 0.34% рассматриваемой территории округа.

При этом заросшие растительностью (закрепленные) песчаные массивы занимают площадь

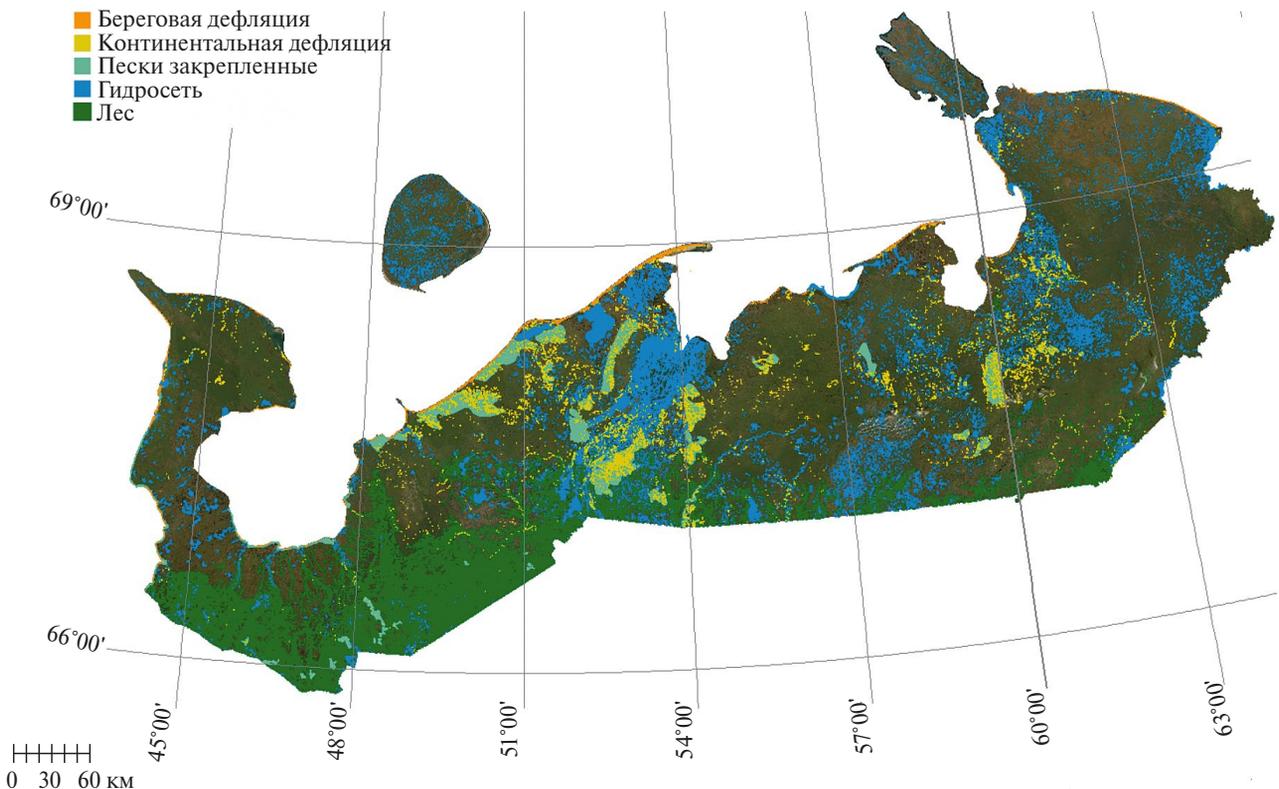


Рис. 1. Космокарта участков дефляции на территории Ненецкого автономного округа.

**Таблица 1.** Характеристики участков дефляции

Параметр	Береговая дефляция	Континентальная дефляция	Всего	Пески, заросшие
Площади, га	20860.3	31513.0	52387.3	543847.8
Кол. участков, шт.	24417	123329	147746	90
Средняя площадь участка, га	0.854	0.25	0.35	6042.8
Ст. откл., га	41.26	2.93	16.996	14790.9
Минимум, га	0.0012	0.0012	0.0012	5.0
Максимум, га	5517.18	462.60	—	85856.0
Коэффициент вариации	48.31	11.72	47.94	2.45
Всего от общей площади округа, %	0.12	0.19	0.31	3.2

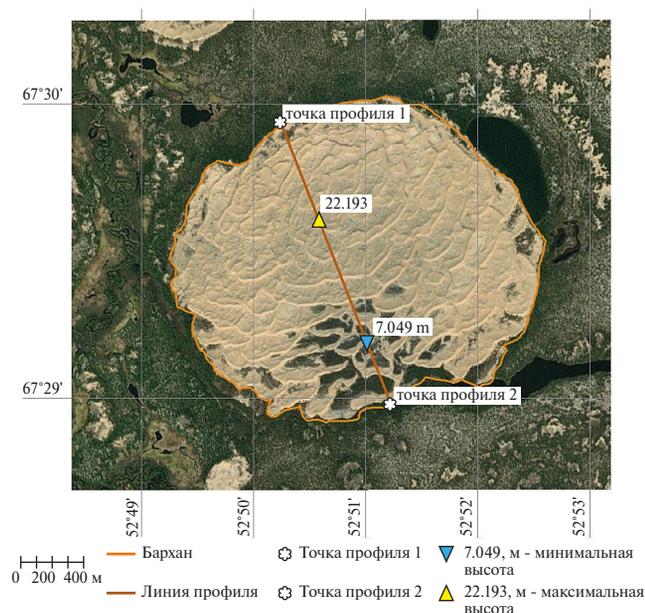
543848 га или 3.2 % континентальной площади округа. Общая площадь лесных насаждений (включая зону тайги) составляет 1185179 га (6.95%). Площадь гидрографической сети – 766504 га (4.5%).

Основными причинами дефляции являются естественные условия – почвенные и климатические. В районах поселений и добычи ресурсов отмечается увеличение площади дефляции за счет антропогенной трансформации участков (Бредихин, 2020). Участки дефляции в основном сосредоточены (84%) в природной зоне южной тундры, южной лесотундры и субарктической поймы (Тишков, 2019).

На рис. 2 показана крупномасштабная космокарта участка территории исследований с типичным

для субарктической поймы песчаным массивом эолового происхождения (тестовый участок), имеющего округлую форму с буграми и грядами.

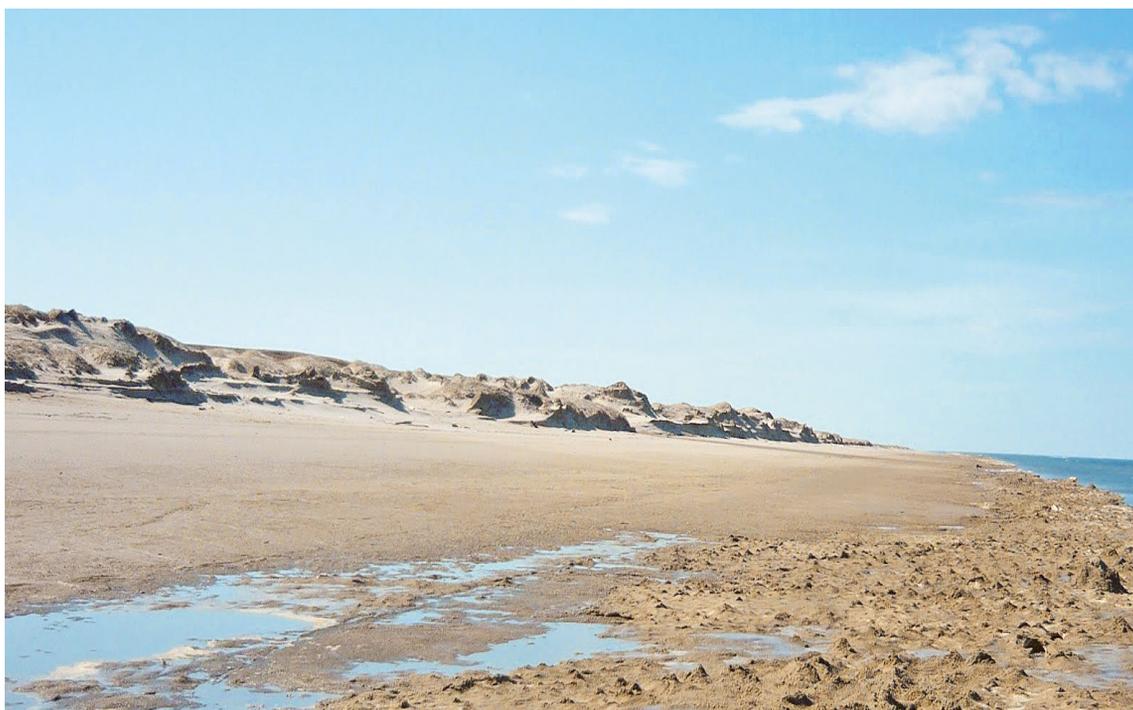
В табл. 2 приведены геометрические и геоморфологические характеристики тестового участка континентальной дефляции в зоне субарктической поймы, которые показывают, что гряды имеют типичную серповидную форму, вытянутую по направлению преобладающих в теплое время года ветров северного румба, высота гряд достигает 19 м от подножия, при крутизне более 20°. При его площади более 355 га условный диаметр составляет более 1.9 км. Полученные данные свидетельствуют о развитии процессов дефляции песчаных массивов на территории исследований. Особенностью таких массивов является присутствие по периферии и в межгрядо-

**Рис. 2.** Космокарта тестового участка континентальной дефляции в зоне субарктической поймы.**Таблица 2.** Характеристика тестового участка континентальной дефляции в зоне субарктической поймы

Параметр	Значение
Площадь тестового участка, га	355.47
Периметр, км	7.61
Экспозиция	SE (119°)
Средняя высота, м	14.5
Средняя крутизна, °	5.9
Средний уклон, %	10.3
Максимальная высота, м	29.0
Координаты ВД	52° 50' 55.34" E
Координаты СШ	67° 29' 30.55" N
Максимальная крутизна, °	23.6
Максимальный уклон, %	43.6
Минимальная высота, м	4.0
Стандартное отклонение высоты, м	3.87
Стандартное отклонение крутизны, м	3.39
Стандартное отклонение уклона, %	5.92



**Рис. 3.** Снимок грядового песчаного рельефа с растительностью (*Picea obovata*, *Betula tortuosa*, *Carex Arctisibirica*) в меж-грядовых понижениях (С. Андрианов) (67°29' 05" с.ш., 52°52' 49" в.д.)



**Рис. 4.** Снимок участка береговой дефляции (Е. Ващук) (68°29' 30" с.ш., 51°22' 30" в.д.).

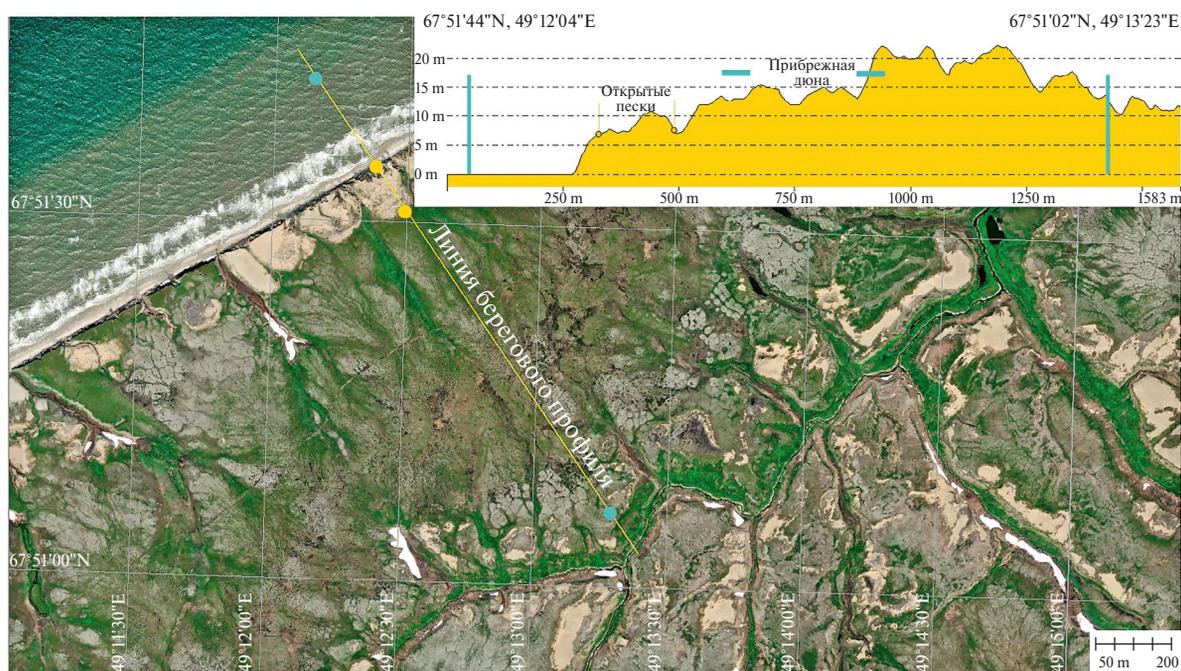


Рис. 5. Космокарта тестового участка береговой дефляции в зоне южной тундры.

вых понижениях древесной растительности, представленной березово-еловыми (*Picea obovata*, *Betula tortuosa*) редколесьями и небольшими лесными массивами с куртинами лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) и подлеском из ив и ерника (*Betula*

*nana*, *Salix glauca*, *Salix phylicifolia*). Травянистая растительность представлена видами *Carex ensifolia* ssp. *Carex Arctisibirica*, *Carex fuliginosa* ssp. *misandra*, *Carex vaginata*, *Carex ledebouriana*, *Oxytropis maydelliana* Trautv и др. (Александрова, 1977).

Таблица 3. Характеристики берегового участка дефляции и профиля

Параметр	Значение
Площадь дефляции, га	1.47
Периметр, км	0.69
Экспозиция	SW (218°)
Средняя высота профиля, м	14.5
Средняя крутизна по профилю, °	0.41
Средний уклон профиля, %	10.3
Максимальная высота профиля, м	22.23
Координаты ВД	49° 12' 25" E
Координаты СШ	67° 51' 32" N
Максимальная крутизна, °	23.6
Максимальный уклон, %	43.6
Минимальная высота, м	0
Стандартное отклонение высоты участка, м	1.9
Стандартное отклонение крутизны участка, м	1.7
Стандартное отклонение уклона участка, %	2.96

Такая растительность характерна для участков в долинах крупных рек и их притоков, а также в межрядовых понижениях песчаных массивов на территории исследований.

Активные изменения морской береговой линии, площади прибрежных дон закономерно отмечаются в результате воздействия морских волн и ветра. На рис. 4 приведен снимок тестового участка береговой дефляции, характерной для зоны типичной тундры, а на рис. 5 – космокарта пространственного положения тестового участка береговой дефляции.

На космокарте показана линия профиля и профиль береговой зоны. Анализ цифровой модели рельефа позволил установить геоморфологические характеристики береговой зоны (табл. 3).

Исследования динамики изменения площади дефлированных поверхностей за период 1984–2022 гг. на территории округа показали, что площадь природных очагов континентальной дефляции, закрепленных по периметру растительностью, изменяется незначительно. Изменения отмечены на прирусловых очагах дефляции в связи с динамикой изменения уровня водной поверхности и периодическим затоплением, размывом и аккумуляцией песков в береговой зоне. Площадь массивов

песков, расположенных вблизи русел рек береговой зоны, также подвержена периодическим изменениям под воздействием разливов рек при повышении уровня (рис. 6, 7). Отмечено зарастание отдельных небольших участков дефляции. Антропогенное воздействие на песчаные массивы в арктических условиях безусловно приводит к разрушению арктических экосистем, сформировавшихся на них. Полевые дороги, проложенные через песчаные массивы, места добычи полезных ископаемых, строительные работы и др. создают участки открытых

песков. Площади таких участков в целом пока незначительны и ограничены окрестностями населенных пунктов и путями доступа к местам добычи полезных ископаемых. Однако, они также требуют внимания и защиты от дефляции методами лесомелиорации и фитомелиорации, которые должны учитывать особенности и адаптационную способность растений – мелиорантов (Кулик, 2020). В связи с этим на первых этапах мелиоративных работ необходимо оценить возможности растений, произрастающих на этих территориях.



Рис. 6. Космоснимок территории Ненецкого автономного округа 1984 г. Спутник Landsat 5 (г. Нарьян-Мар).

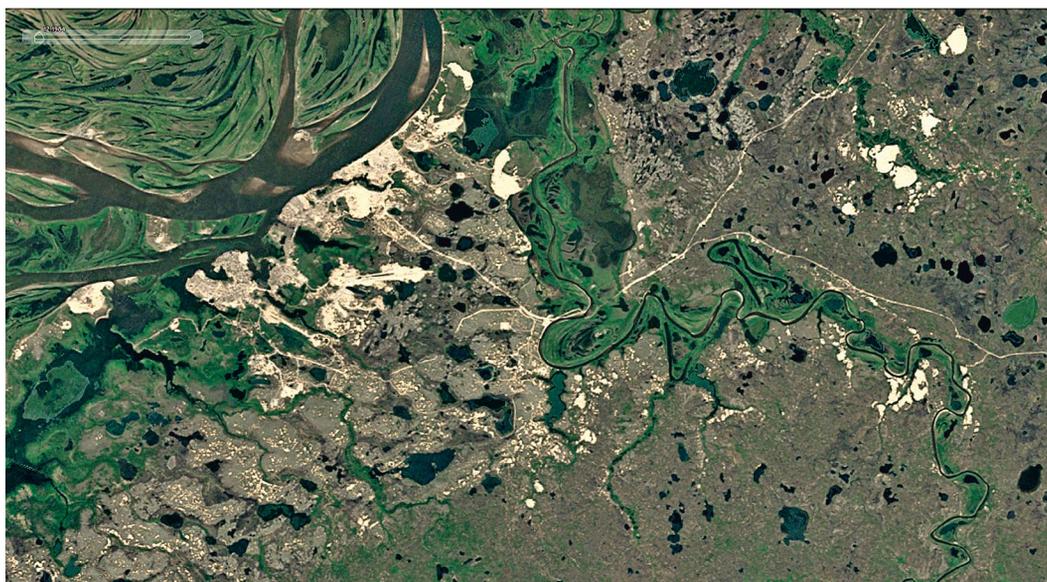


Рис. 7. Космоснимок территории Ненецкого автономного округа 2020 г. с выделений зон зарастания песков. Спутник Landsat 8 (г. Нарьян-Мар).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В связи с климатически обусловленной трансформацией естественных факторов, связанных в первую очередь с повышением среднегодовых температур, в том числе температурных максимумов в теплый период, возрастают риски развития процессов дефляции.

Предотвращение негативных изменений ландшафтов арктической зоны, в связи с этим может быть осуществлено с использованием лесомелиоративных и фитомелиоративных мероприятий, направленных на создание устойчивого растительного покрова. Учет морфологической структуры и особенностей арктических ландшафтов при планировании мероприятий по защите их от дефляции обеспечит их устойчивость, что особенно важно в береговой зоне Арктики. Геоморфологическая дифференциация ландшафтов дает возможность эффективно использовать такие параметры, как яркость, экспозиция, мезо- и микроклиматические различия для разработки противодефляционных мероприятий. Учет интразональности в арктической зоне, как распространения нехарактерных особенностей почв, растительности, ландшафтов в виде отдельных участков, образующих закономерные особенности внутри основных зон, обеспечивает направленное лесомелиоративное обустройство, отличное от общего. Применение аэрокосмических методов, ГИС-технологий и систем глобального позиционирования позволяет перейти на новый технологический уровень в лесомелиоративном планировании и технологическом обустройстве ландшафтов арктической зоны. Использование данных космического зондирования поверхности Земли дает возможность выявить степень дефлированности территории на контролируемых площадях, создать информационную систему мониторинга и прогноза состояния почвенного и растительного покрова, обосновать необходимые мероприятия для предотвращения дефляции. Компьютерное лесомелиоративное картографирование ландшафтов позволяет создавать специализированные карты, которые несут достоверную информацию о состоянии почвенного покрова, динамике протекающих почвенно-литологических процессов, а потому незаменимы при решении задач ландшафтного планирования и противодеградационного лесомелиоративного обустройства территории.

## ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках темы FNFE-2024-0008 государственного задания ФНЦ агроэкологии РАН «Математическое моделирование и прогнозирование процессов дефляции земель сельскохозяйственного назначения при техногенных и природных воздействиях на современном уровне лесомелиоративной защищенности».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Александрова В.Д.* Геоботаническое районирование Арктики и Антарктики. Л.: Наука, 1977. 189 с.
- Аржанникова А.В., Аржанников С.Г., Акулова В.В. и др.* О происхождении песчаных отложений в Южно-Минусинской котловине // Геология и геофизика. 2014. Т. 55. № 10. С. 1495–1508.
- Бредихин А.В., Еременко Е.А., Харченко С.В., Беляев Ю.Р. и др.* Районирование Российской Арктики по типам антропогенного освоения и сопутствующей трансформации рельефа на основе кластерного анализа. // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2020. № 1. С. 42–56. EDN: BMMJEB
- Бондур В.Г., Воробьев В.Е.* Космический мониторинг импактных районов Арктики // Исследование Земли из космоса. 2015. № 4. С. 4–24.
- Гаель А.Г., Смирнова Л.Ф.* Пески и песчаные почвы. М.: ГЕОС, 1999. 252 с.
- Горячкин С.В.* География экстремальных почв и почвоподобных систем // Вестник российской академии наук. 2022. Т. 92. № 6. С. 564–571.
- Евсеева Е.Г., Язиков З.Н., Квасникова Н.С. и др.* Современный эоловый морфолитогеоз: изученность, региональные проявления // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331. № 11. С. 96–107.
- Кулик К.Н., Петров В.И., Юферев В.Г., Ткаченко Н.А., Шинкаренко С.С.* Геоинформационный анализ опустынивания Северо-Западного Прикаспия // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. № 2(83). С. 16–24.
- Малиновская Е.А.* Трансформация эоловых форм рельефа при ветровом // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2019. Т. 55. № 1. С. 54–64.
- Тишков А.А., Белоновская Е.А., Глазов П.М., Кренке А.Н. и др.* Антропогенная трансформация арктических экосистем России: подходы, методы, оценки. Арктика: экология и экономика. № 4(36). 2019. С. 38–51.
- Чупина Д.А., Зольников И.Д.* Геоинформационное картографирование форм и типов рельефа на основе орфометрического анализа // Геодезия и картография. 2016. № 6. С. 35–43.
- Юферев В.Г., Силова В.А., Ткаченко Н.А.* Дистанционный мониторинг опустынивания территории Калмыкии // Аридные экосистемы. 2023. Т. 29. № 1(94). С. 46–52.
- Badyukova E.N., Solovieva G.D.* Coastal eolian landforms and sea level fluctuations. Oceanology. 2015. 55(1). P. 124–130.
- Tamura T., Kodama Y., Bateman M.D., Saitoh Y., etc.* Late Holocene aeolian sedimentation in the Tottori coastal dune field, Japan Sea, affected by the East Asian winter monsoon // Quaternary International. 2016. V. 397. P. 147–158. DOI: 10.1016/j.quaint.2015.09.062.
- Tanino K.* Environments of the formation of dunes at Shiriyazaki in the Shimokita Peninsula, Aomori Prefecture // The Quaternary Research (Daiyonki-Kenkyu). 2000. V. 39(5). P. 471–478.
- Tsvetkov V.Ya.* Global Monitoring // European Researcher. 2012. V. (33). № 11–1. P. 1843–1851.
- De Vries S., Arens S.M., De Schipper M.A., Ranasinghe R.* Aeolian sediment transport on a beach with a varying sediment supply // Aeolian Research. 2014. V. 15. P. 235–244.

## Estimation of the Distribution of Deflation Sites on the Territory of the Nenets Autonomous Okrug by Data of Remote Sensing

V. G. Yuferev<sup>1</sup>, K. N. Kulik<sup>1</sup>, A. M. Pugacheva<sup>1</sup>, V. A. Gushchin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences" (FSC of Agroecology of RAS), Volgograd, Russia

Geoinformation assessment of deflation processes in the Arctic conditions makes it possible to move to a new technological level in the planning of forest reclamation of the landscapes of the Arctic zone. The use of forest reclamation and phytomelioration of accumulative forms makes it possible to control desertification processes. To achieve the purpose of the study – to assess the spatial distribution of deflated surface areas on the territory of the Nenets Autonomous Okrug, a geoinformation analysis of current space sensing data was carried out and the degree of degradation (deflation and anthropogenic transformation) of the territory in controlled areas was revealed, on the basis of which the necessary measures are proposed to prevent land deflation and it is planned to create an information system for monitoring and forecasting the state of soil and vegetation cover. The decoding of satellite images of deflation sites in the research area made it possible to develop vector cartographic GIS layers, which show selected coastal, continental not grown and overgrown massifs. The conducted geomorphological differentiation of deflation sites makes it possible to effectively use such parameters as tiering, exposure, meso- and microclimatic differences, as well as plan anti-deflation measures. Vector cartographic layers of the spatial distribution of sandy accumulative forms have been developed and their morphometric characteristics have been determined, the features of the development of continental and coastal deflation have been established, the areas of which are 31.51 and 20.86 thousand hectares, respectively, the total number of sites allocated by vector contours exceeds 166 thousand, and their sizes vary from 0.001 hectares to more than 5.5 thousand hectares. As a result of a spatial assessment of 68 large sandy massifs overgrown with vegetation, their area of 543.85 thousand hectares has been established.

*Keywords:* space photos, decryption, analysis, deflation, sandy area

### REFERENCES

- Alexandrova V.D.* Geobotanical zoning of the Arctic and Antarctic. L.: Nauka, 1977. 189 p.
- Arzhannikova A.V., Arzhannikov S.G., Akulova V.V., and others.* On the origin of sand deposits in the South Minusinsk basin // *Geology and Geophysics*. 2014. V. 55. № 10. P. 1495–1508.
- Bredikhin A.V., Eremenko E.A., Kharchenko S.V., Belyaev Y.R., etc.* Zoning of the Russian Arctic by types of anthropogenic development and associated relief transformation based on cluster analysis. // *Vestn. Moscow. Univ. Ser. 5. Geography*. 2020. № 1. P. 42–56. EDN: BMMJEB
- Bondur V.G., Vorobyov V.E.* Space monitoring of impact areas of the Arctic // *Earth Exploration from space*. 2015. № 4. P. 4–24.
- Gael A.G., Smirnova L.F.* Sands and sandy soils. M., GEOS, 1999. 252 p.
- Goryachkin S.V.* Geography of extreme soils and soil-like systems. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. 2022. V. 92. № 6. P. 564–571.
- Evseeva E.G., Yazikov Z.N., Kvasnikova N.S., and others.* Modern Aeolian morpholithogenesis: study, regional manifestations // *Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Geore-source engineering*. 2020. V. 331. № 11. P. 96–107.
- Kulik K.N., Petrov V.I., Yuferev V.G., Tkachenko N.A., Shinkarenko S.S.* Geoinformation analysis of desertification of the Northwestern Caspian Sea // *Arid ecosystems*. 2020. V. 26. № 2(83). P. 16–24.
- Malinovskaya E.A.* Transformation of Aeolian landforms under wind conditions // *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Physics of the atmosphere and ocean*. 2019. V. 55. № 1. P. 54–64.
- Tishkov A.A., Belonovskaya E.A., Glazov P.M., Krenke A.N., etc.* Anthropogenic transformation of Russia's Arctic ecosystems: approaches, methods, and assessments. *The Arctic: Ecology and Economics*. 2019. № 4 (36). P. 38–51.
- Chupina D.A., Zolnikov I.D.* Geoinformation mapping of forms and types of relief based on morphometric analysis // *Geodesy and cartography*. 2016. No. 6. P. 35–43.
- Yuferev V.G., Silova V.A., Tkachenko N.A.* Remote monitoring of desertification in Kalmykia // *Arid ecosystems*. 2023. V. 29. № 1(94). P. 46–52.
- Badyukova E.N., Solovyova G.D.* Coastal Aeolian landforms and sea level fluctuations. *Oceanology*. 2015. 55(1): 124–130.
- Tamura T., Kodama Yu., Bateman M.D., Saito Yu., and others.* Late Holocene Aeolian sediments on the Tottori coastal dune field, Sea of Japan, affected by the winter monsoon in East Asia // *The International Quaternary period*. 2016. V. 397. P. 147–158.
- Tanino K.* Conditions of dune formation in Shiriyazaki on the Shimokita Peninsula, Aomori Prefecture // *Quaternary studies (Daionki-Kenkyu)*. 2000. V. 39(5). P. 471–478. <https://doi.org/10.4116/jaqua.39.471>.
- Tsvetkov V.Ya.* Global monitoring // *European Researcher*. 2012. V. (33). № 11-1. P. 1843–1851.
- De Vries S., Ahrens S.M., De Schipper M.A., Ranasinghe R.* Transfer of Aeolian sediments on a beach with a changing sediment reserve // *Aeolian studies*. 2014. V. 15. P. 235–244.