

ПЕСЧАНЫЕ АНТРОПОГЕННЫЕ ПУСТЫНИ ЗИМНЕГО И ЛЕТНЕГО БЕРЕГОВ БЕЛОГО МОРЯ

¹Репкина Т.Ю., ²Гуринов А.Л., ¹Луговой Н.Н.

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

² Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Песчаные антропогенные пустыни - своеобразный ландшафт побережий Арктики, в т.ч. Белого моря. Их облик и динамика рельефа зависят как от естественных условий, так и от характера антропогенной нагрузки, и не одинаковы на разных участках берега. Строение таких пустынь исследовано в 2020 г. в окрестностях с. Ручьи (Зимний берег) и д. Яреньга (Летний берег). Выявлены типичные комплексы форм рельефа и отложений, связанных с определенными видами антропогенного воздействия. Показано, что необходимое условие активизации эоловых процессов - нарушение дерново-почвенного покрова, провоцирующее дефляцию в месте нарушения и аккумуляцию песка на соседних участках, а наиболее губительный для песчаных террас вид антропогенного воздействия - проезды гусеничного и автомобильного транспорта. Применение DGPS, БПЛА и георадиолокационной съемки позволило охарактеризовать особенности строения эолово-антропогенных отложений и приблизиться к количественной оценке масштабов антропогенной трансформации эолового морфолитогенеза.

Ключевые слова: *морские берега, антропогенная активизация, эоловые процессы, БПЛА, DGPS, георадар, Белое море*

Эоловые процессы - неотъемлемая составляющая динамики аккумулятивных песчаных берегов не только тропических и умеренных [Выхованец, 2003], но и высоких [Романенко, 1998, Шевченко, Сафьянов, 2007] широт. Морские террасы побережья Белого моря, особенно расположенные в устьях рек, на протяжении нескольких тысячелетий осваивались человеком [Первоначальное..., 2014]. Антропогенное воздействие на рельеф заметно возросло в последние столетия [Романенко, 2007, Бредихин и др., 2020, Репкина и др., 2020] и многократно усилило активность эоловых процессов. На Летнем, Терском, Зимнем и Канинском берегах Белого моря возникли песчаные антропогенные пустыни (Рис. 1) - участки, где эоловые процессы, спровоцированные деятельностью человека, в значительной мере определяют облик и динамику рельефа побережья. Особенности антропогенно-эолового рельефа зависят от строения прибрежных террас, объема наносов в береговой зоне, ветрового режима, а также от характера антропогенной нагрузки. Таким образом, цель исследования состоит в выявлении закономерностей антропогенной трансформации эолового морфолитогенеза на берегах Белого моря.

Материалы и методы. Полевые работы выполнены в районе с. Ручьи (Зимний берег Белого моря) и д. Яреньга (Летний берег Белого моря). Комплекс полевых методов включал геоморфологическое профилирование и картографирование, инвентаризацию антропогенного рельефа, описание разрезов естественных и антропогенных отложений. На ключевых участках выполнены съемки DGPS и БПЛА, а на Зимнем берегу Белого моря также георадиолокационные исследования.

Плановые и высотные характеристики рельефа получены методами съемки БПЛА и DGPS. Аэрофотосъемка проведена с помощью квадрокоптера DJI Phantom 4 Pro v2.0. с высоты 50-150 м по параллельным галсам, серии снимков сделаны из надирного положения камеры с перекрытием не менее 70%. Полученные наборы изображений обработаны в ПО Agisoft Metashape Pro v.1.5.1. Для повышения качества привязки снимков и ортофотопланов, а также уменьшения внутренних погрешностей ЦММ, на этапе построения моделей введены координаты специальных маркеров, полученные с помощью DGPS PrinCe i50 с плановой и высотной точностью 3 - 5 мм. В результате плановое смещение и искажение высот на ЦММ не превышают первых дециметров.

Георадиолокационные исследования выполнены при помощи георадара Zond-12e и антенн с частотой 300 и 500 МГц. Средняя глубинность и разрешающая способность (около 20 см для съемки с частотой 500 МГц) аппаратуры позволяют с относительно высокой точностью оценить мощность навейных или перевейных песков по выбранным профилям. Всего было получено более 20 полевых радарограмм (рис. 2).



Рис. 1. Песчаные антропогенные пустыни побережья Белого моря (желтые маркеры) и положение участков исследования (красные квадраты) (составлено с использованием спутниковых изображений GoogleEarth)

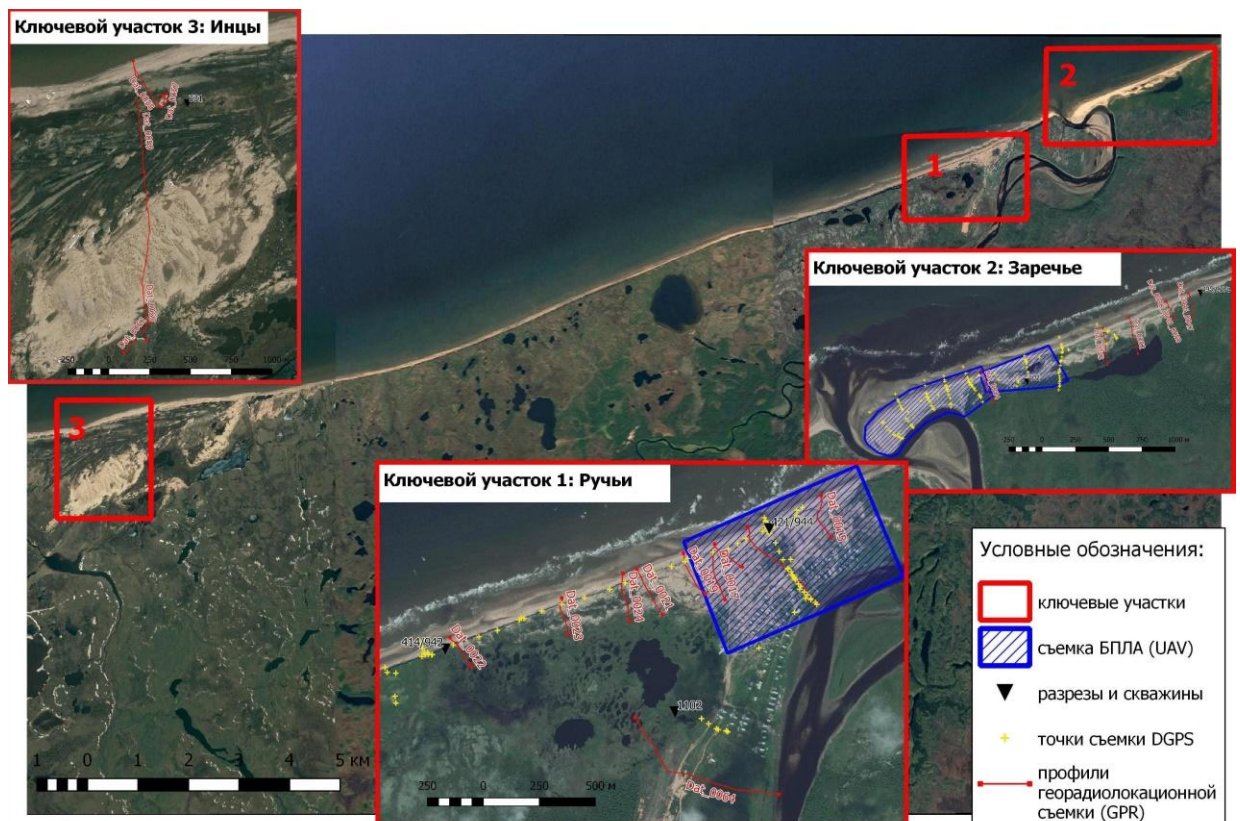


Рис. 2. Положение участков детальных исследований и схемы фактического материала (составлено с использованием спутниковых изображений Bing и GoogleEarth)

Обработка первичных (полевых) радарограмм проведена с использованием программ: Prism 2.5 и RadExplorer 1.42. Применялись алгоритмы амплитудной коррекции, фиксации времени первого вступления, редакция трас, полосовая фильтрация, рельеф. Ввод данных о превышениях на участке «Ручьи» проводился с использованием высот ЦММ, созданной на основе съемок DGPS и БПЛА. В случае если данные инструментальных съемок были недоступны, использовались топографические карты детальных масштабов, а также результаты профилирования с помощью ручного уровня CST Berger 17-632 Hand Sight Level и мерной рейки. Интерпретация радарограмм проведена на основе анализа волной картины по стандартной методике [Старовойтов, 2008]. Результатом обработки и интерпретации радарограммы является построение т.н. глубинно-скоростной модели, учитывающей диэлектрическую проницаемость для разных сред, которая может быть получена из литературных источников и/или вычислена экспериментальным образом. Геофизические данные в сочетании с анализом результатов БПЛА-съемки и геоморфологического дешифрирования легли в основу количественной оценки объемов эолового переноса.

Антропогенно-эоловый морфолитогенез на Зимнем берегу Белого моря

В районе с. Ручьи, как и на всем восточном побережье пролива Горло, из-за чрезвычайно высоких скоростей ветра и неустойчивого ледового покрова береговые и эоловые процессы весьма активны даже в зимнее время. Устьевая область р. Ручьи – участок мощной современной аккумуляции песчаного материала [Репкина и др., 2019a], что обеспечивает значительные объемы эолового выноса песков с пляжа на прибрежные террасы.

На правобережье р. Ручьи (ключевой участок Заречье на рис. 2) обследованы формы эолового рельефа, развивающиеся в относительно ненарушенных условиях. Пески, поступающие с пляжа и формирующиеся за счет перевевания чехла террасы, создают дюнный массив, вытянутый вдоль берега на СВ от устья реки, и налегают на более древние морские осадки. По данным георадарных исследований мощность песков в дюнном массиве достигает 3-4 м. Относительно редкие нарушения дерново-почвенного покрова, провоцирующие дефляцию, связаны с проездами транспорта. В случае если транспортная колея используется относительно редко и не разбита тяжелой техникой, она углублена на первые сантиметры, а размеры редких дефляционных форм не превышают первых десятков сантиметров. Если колея используется часто, а покров песка имеет достаточную мощность, вдоль колеи формируются крупные дефляционные котловины (длина 10-60 м, ширине до 15м, глубина до 2 м). По периметру котловин образуются аккумулятивные формы - надувы и валики, длиной и шириной 10-30 м при высоте до 1-2 м. Состав слагающих их песков почти не отличается от состава естественных эоловых отложений.

Левобережье р. Ручьи (ключевой участок 1 на рис. 2) - зона интенсивной антропогенной нагрузки. Хозяйственная деятельность жителей поморского селения, возникшего еще в XIV веке, традиционно ориентирована на освоение морских ресурсов и прибрежную торговлю. Поэтому как речной, так и морской берега испытывают существенный антропогенный прессинг, максимальный на морском берегу к СЗ от села. По сведениям [Ramsay, 1898] в начале XX века деревня располагалась на «песчаном плато» (Sandplateau) высотой около 7 м. В настоящее время «плато» опутано сетью дорог, врезанных на глубину до 2 м. На береговых уступах ширина дорожных выемок достигает 30 м, а их глубина - 4 м. На пляже и осушке дорожные колеи не сохраняются долго. Однако каждый день в фазу малой воды приурезовая полоса превращается в районе деревни в трассу с оживленным движением. Регулярные проезды транспорта разрушают пляжи и осушки, активизируя вынос наносов волнами и ветром, тем самым, провоцируя отступление берега. Ширина «шлейфа» песков, вынесенных ветром на поверхность террасы, закономерно уменьшается от 200-250 м на участке максимальной антропогенной нагрузки до 20-30 м в 1.5 км от него. Мощность эоловых песков с включениями

техногенного мусора составляет в приборочной части террасы 0.5-1 м, а в на СЗ склонах «плато», занятого постройками д. Ручьи и обращенных к преобладающим летним ветрам, увеличивается до 1-2 м. В том же направлении возрастает количество техногенной составляющей антропогенно-эоловых отложений. Объем эолового чехла составляет по нашим оценкам, основанным на сведениях о его распространении и мощности, около 250 тыс. куб.м. Из них около 40 тыс. куб.м. сконцентрированы на участке наиболее интенсивной хозяйственной деятельности. Состав и строение отложений чехла существенно отличаются от таковых для естественных эоловых отложений. Как правило, это неравномерно слоистые и неоднородные по составу пески, с содержанием антропогенных включений от первых процентов до более половины объема толщи. Наибольшее количество включений наблюдается в районе селитебной застройки, особенно вблизи заброшенных и разрушенных строений, а также на свалках. На радарограммах такие отложения дешифрируются по наличию многочисленных волн-помех - расходящихся от одной точки в разные стороны крутопадающих осей синфазности (гипербол).

Иначе устроен комплекс эоловых форм и отложений вблизи аэродрома с. Ручьи, который расположен на песчаной террасе. Пески, вынесенные с летного поля, накапливаются у бровок террасы, образуя дюны. Отложения дюн в районе аэродрома не отличаются от эоловых отложений, сформировавшихся без участия человека.

В районе мыса Инцы (ключевой участок 3 на рис. 2) обследован заброшенный аэродром с грунтовым покрытием, действовавший в 1940-х годах. Летное поле расположено на пологогорядовой террасе, сложенной песками с обильными включениями гравия и гальки. В районе аэродрома терраса выровнена; из-за дефляции ее поверхность бронирована гравийно-галечной отмосткой [Репкина и др., 2019а]. На террасе, в ~500 м от берега, возвышается одинокая дюна Погорелка диаметром около 50 м и высотой 5.5 м. Радиолокационные исследования показали, что в основании дюны присутствует чужеродный (антропогенный) объект - ядро аккумуляции (предположительно остов сгоревшей избы - диспетчерской аэродрома). Участок естественной аккумуляции (дюнный массив с мощностью песков 9-11 м) находится на расстоянии 2 км от берега моря.

Антропогенно-эоловый морфолитогенез на Летнем берегу Белого моря

На Летнем берегу Белого моря преобладают антропогенные пустыни иного облика. Как правило, непосредственно за авантюной располагается нарушенная проездами транспорта поверхность эолового выравнивания с останцами разветвленных террас. Вынесенный из береговой зоны и с низких террас материал аккумулируется на поверхности активных дюн, постепенно продвигающихся в сторону суши. На участках, не нарушенных человеком, дефляционные котловины приурочены к вершинам береговых валов и не образуют единой поверхности выравнивания [Репкина и др., 2019б].

Крупнейшая поверхность эолового выравнивания (~2 кв. км) сформировалась у СЗ окраины д. Яреньга на абразионном берегу. Пологоволнистая поверхность террасы высотой 5-7 м прикрыта гравийно-галечной отмосткой, лишена растительности. Наносы, выносимые ветрами из береговой зоны, слабо прикрывают береговые уступы и, по-видимому, практически не попадают на поверхность террасы. За счет дефляции высота террасы снизилась с 1960-х годов не менее чем на 0.5 м. Мористый склон дюны отступает в сторону суши. Постепенное смещение подножия склона фиксируется полосами стволов погибших сосен - ближе к берегу упавших и сломанных, а у вершины дюны - засыпанных песком, но еще вертикальных. Основная причина активизации дефляции - разезды транспорта и выпас скота. Как и в районе с. Ручьи, дорожные колеи перевезены, углублены в поверхность террасы. Локальные участки аккумуляции на поверхности террасы приурочены к свалкам, где формируются антропогенно-эоловые отложения, более чем на 50% состоящие из крупногабаритного мусора, а также к подветренным стенам хозяйственных построек.

Выводы

1. Основной причиной активизации дефляции и возникновения на прибрежных песчаных террасах антропогенных пустынь в последнее столетие является, по-видимому, нарушение дерново-почвенного покрова разъездами транспорта.

2. Тенденция развития прибрежных антропогенных пустынь в значительной мере зависит от баланса наносов в береговой зоне. В случае преобладания обстановок аккумуляции на перевеянных террасах могут формироваться аккумулятивные тела - «шлейфы». На абразионных берегах прибрежные террасы, нарушенные человеком, обречены на постепенную деградацию.

3. Обломки построек, брошенная техника и бытовой мусор, перемешиваясь с материалом естественного происхождения, образуют особый комплекс эолово-антропогенных отложений. Как правило, это неравномерно слоистые и неоднородные по составу пески мощностью от первых десятков сантиметров до 5 м с содержанием антропогенных включений от первых процентов до более половины объема толщи.

4. Использование георадиолокационных методов, данных БПЛА- и DGPS-съемки позволяет с высокой долей достоверности оценить объем эолового переноса.

Благодарности. Полевые работы выполнены при поддержке проектов РФФИ 18-05-60200 и 19-05-00966; обработка результатов – в рамках темы ГЗ АААА-А16-116032810089-5.

ЛИТЕРАТУРА

Бредихин А.В., Еременко Е.А., Харченко С.В. и др. Районирование Российской Арктики по типам антропогенного освоения и сопутствующей трансформации рельефа на основе кластерного анализа // Вестник Моск. ун-та. Серия 5. География, 2020. № 1. С. 42-56.

Выхованец Г.В. Эоловый процесс на морском берегу. Одесса: Изд-во «Астропринт», 2003. 368 с.

Первоначальное заселение Арктики человеком в условиях меняющейся природной среды: Атлас-монография / Отв. Ред. В.М. Котляков, А.А. Величко, С.А. Васильев. М.: ГЕОС, 2014. 519 с.

Репкина Т.Ю., Зарецкая Н.Е., Шилова О.С., Луговой Н.Н., Садков С.А. Юго-восточный берег Горла Белого моря в голоцене: рельеф, отложения, динамика // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2019а. Выпуск 6, Санкт-Петербург: ААНИИ. С. 146-153

Репкина Т.Ю., Луговой Н.Н., Романенко Ф.А., Лукьянова С.А. Антропогенная трансформация берегов Российской Арктики // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2020. № 6. С. 10-20.

Репкина, Т. Ю., Романенко, Ф. А., Зарецкая, Н. Е., Кублицкий, Ю. А., Леонтьев, П. А., Шилова, О. С., Беличенко, А. Е., Архипов, В. В., и Яковлева, А. П. Динамика западного берега Унской губы (Летний берег Белого моря) в голоцене и его заселение // Материалы XXIII Международн. научн. конф. (Школы) по морской геологии “Геология морей и океанов”. Т. 3. ИО РАН Москва, 2019б. С. 212–216.

Романенко Ф. А. История природопользования / В кн.: Геоэкологическое состояние арктических побережий России и безопасность природопользования / ред. Н. И. Алексеевский. М.: ГЕОС, 2007. С. 98-112.

Романенко Ф.А. Строение и динамика рельефа островов Карского моря // Динамика Арктических побережий России / Под ред. В.И. Соломатина, В.А. Совершаева, И.И. Мазура. М.: Географический ф-т МГУ, 1998. С. 131-147.

Сафьянов Г.А., Шевченко Н.Е. Эоловые процессы на берегах Белого моря // Проблемы управления и устойчивого развития прибрежной зоны моря. Геленджик: ЮО ИО РАН, 2007. С. 175-178.

Старовойтов А.В. Интерпретация георадиолокационных данных. Учебное пособие
М.: Издательство МГУ, 2008. 192 с.

Ramsay W. Über die geologische Entwicklung der Halbinsel Kola in der Quartärzeit.
Fennia, 1898. Bd. XVI. N 1. S. 1-151.

SANDY HUMAN-MADE DESERTS OF THE ZIMNIY AND LETNIY COAST OF THE WHITE SEA

¹*Repkina T.Yu.*, ²*Gurinov A.L.*, ¹*Lugovoy N.N.*

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

²RUDN University, Moscow, Russia

Sandy man-made deserts are a peculiar landscape of the Arctic coasts, including the White Sea. Their appearance and relief dynamics depend both on natural conditions and on the nature of anthropogenic load, and are not the same in different parts of the coast. The structure of such deserts was investigated in 2020 in the vicinity of the village. Streams (Zimniy Coast) and the village of Yarenga (Letniy Coast). Typical complexes of relief forms and sediments associated with certain types of anthropogenic impact have been identified. It is shown that a necessary condition for activating aeolian processes is a disturbance of the sod-soil cover, provoking deflation in the place of disturbance and accumulation of sand in neighboring areas, and the most destructive type of anthropogenic impact for sandy terraces is the passage of caterpillar and automobile transport. The use of DGPS, UAVs, and GPR surveys made it possible to characterize the structural features of aeolian-anthropogenic deposits and come closer to a quantitative assessment of the scale of anthropogenic transformation of aeolian morpholithogenesis.

Keywords: *sea coasts, anthropogenic activation, aeolian processes, UAVs, DGPS, GPR, White Sea.*