

РЕЛЬЕФ И ВНУТРЕННЕ СТРОЕНИЕ ДЮННОГО МАССИВА НА ЛЕВОБЕРЕЖЬЕ Р. ШОЙНЫ (КАНИНСКИЙ БЕРЕГ БЕЛОГО МОРЯ): РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

^{1,2}Репкина Т.Ю., ²Леонтьев П.А., ²Кублицкий Ю.А., ²Вяткин Е.Д., ³Крехов А.К., ²Орлов А.В.

¹ Институт географии РАН, Москва, Россия

²РГПУ им. А. И. Герцена, г. Санкт-Петербург, Россия

³СПбГУ, физический факультет, Санкт-Петербург, Россия

Проведены геолого-геоморфологические и геофизические исследования массива приморских дюн на левом берегу р. Шойны (Канинский берег Белого моря). Комплекс работ включал геоморфологическое и георадиолокационное профилирование, съемку DGPS и БПЛА, бурение донных отложений озёр с отбором кернов на микропалеонтологический и геохимический анализы и радиоуглеродное датирование, а также отбор песков дюнного массива на ОСЛ-датирование. Целью работ был сбор данных для реконструкции истории развития приморских дюн в голоцене, в том числе реакции дюн на изменение относительного уровня моря. Установлено, что активные дюны в устье р. Шойны представляют собой трансгрессивное дюнное поле со сложной историей и динамикой. Основным источником питания дюн являются пляжи и приливные осушки морского побережья. Ядром аккумуляции прибрежно-морских и эоловых отложений стали выступы коренных пород. На георадарных профилях и в разрезах зафиксировано не менее трех этапов аккумуляции эоловых песков, накопившихся в среднем и позднем голоцене.

Ключевые слова: *морские берега, приморские дюны, морфодинамика, относительный уровень моря, голоцен, БПЛА, DGPS, георадар, палеолимнологические исследования, Канинский берег, Белое море*

Эоловые процессы – одна из важнейших составляющих морфолитогенеза песчаных берегов Мирового океана [Выхованец, 2003]. Облик и динамику прибрежного эолового рельефа определяют соотношение баланса наносов в береговой зоне (БЗ) и направления господствующих ветров относительно береговой линии (БЛ), а также сложный комплекс локальных факторов (ширина зоны насыщения ветропесчаного потока, состав растительности, положение уровня грунтовых вод и др.). Ритмы активизации прибрежных эоловых процессов связаны с колебаниями относительного уровня моря (ОУМ) и изменениями климата. Приморские дюны Арктики и Субарктики исследованы к настоящему времени только на отдельных участках побережья [Ruz, Hesp, 2014], а представления о ритмах прибрежного эолового морфолитогенеза арктических морей лимитированы количеством дат [Lancaster et al., 2016].

На Канинском берегу Белого моря, между устьями рек Месна и Кия, существует один из крупнейших в регионе ареалов прибрежного эолового рельефа – авандюн и активных дюн [Невесский и др., 1977]. Сведения об их внутреннем строении, источниках питания и динамике отсутствуют. Крупнейший массив активных дюн (протяженность ~5 км, ширина до ~0.6 км, высота до 22 м) расположен на левобережье р. Шойны. Дюны надвигаются на западную окраину одноименного села [Тайна..., 2022]. Таким образом, изучение эолового рельефа этого района важно не только для понимания закономерностей развития приморских дюн Арктики и Субарктики, но также для выяснения причин напряженной экологической ситуации в районе с. Шойна и поиска решений для ее устранения.

Материалы и методы. В июле 2022 г. на участке от устья р. Шойны до устья р. Кии были проведены маршрутные геоморфологические работы, георадиолокационное профилирование, палеолимнологические исследования, съемка БПЛА и DGPS. Детальные работы выполнены на левом берегу р. Шойна (Рис. 1).

Геоморфологические работы включали изучение рельефа, состава наносов и динамики современной БЗ, а также анализ рельефа и отложений дюнного массива. Георадиолокационный комплекс состоял из антенных блоков ОКО 3 основной несущей частоты 50 МГц и 250 МГц. Данные регистрировались блоком обработки ОКО 2. Управление съемкой и запись данных осуществлялась с помощью полевого компьютера. Результатами работ стали радарограммы, состоящие из индивидуальных трасс радиолокационных зондирований. Трассы записывались через одинаковые интервалы времени в 0.1 с. Развертка по временной шкале была выбрана 400 нс. Параметр накоплений был установлен 32. Для получения профиля высот и пространственной привязки профилей была использована DGPS система PrinCe i50a. Обработка радарограмм велась в ПО GeoScan 32. Скорости волн в среде определялись методом подбора кривых для гиперболических отражений от неоднородностей в среде. Из скорости волн высчитывалась диэлектрическая проницаемость. Полученные диэлектрические проницаемости сравнивались с табличными значениями для пород, слагающих район исследований для исключения ошибок определения. Для заверки выделенных георадиолокационных комплексов использованы данные бурения и изучения разрезов.

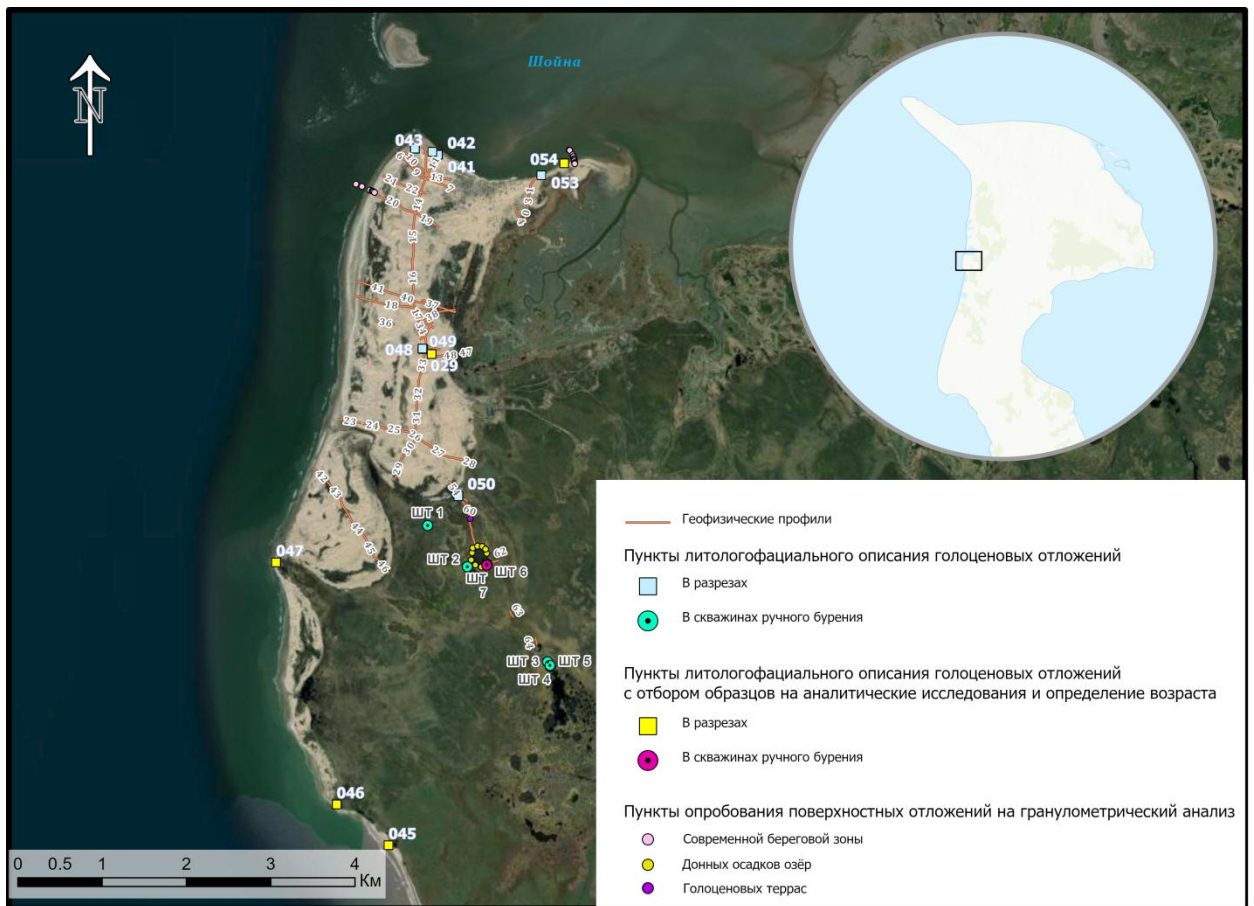


Рис. 1. Положение участков детальных исследований на левобережье р. Шойны. Составил Е.Д. Вяткин

Бурение озёрных и болотных отложений выполнено в 4х точках с помощью русского торфяного бура. Оно сопровождалось литолого-стратиграфическим описанием кернов и отбором образцов на гранулометрический, геохимический и диатомовый анализы и радиоуглеродное датирование. Также изучены разрезы береговых уступов (БУ) всех, террас, выделенных в ходе геоморфологических маршрутов, авандюн и дюн. Из основания дюн авандюн и отобраны образцы на определение возраста отложений методами OSL и/или радиоуглеродного датирования. Планово-высотное положение форм рельефа,

георадарных профилей, скважин и разрезов установлено методами тахеометрического профилирование (DGPS PrinCe i50) и съемки БПЛА (квадрокоптер DJI Mini2).

Результаты исследования. Современная БЗ охватывает интервал высот от -2.8 до +2 м. В районе устья р. Шойны берег аккумулятивный. Песчаные приливных осушки имеют ширину до 300 м, а пляжи – до 20 м. На осушке развиты береговые валы. Авандюны высотой до 4 м сложены преимущественно мелкозернистым песком. На георадарных профилях видно, что слоистость песков близка к горизонтальной. К юго-западу от устья ширина осушки уменьшается до 60-100 м. Авандюны становятся ниже, в них появляются уступы размыва. На расстоянии от ~5 до ~10 км от устья на осушке обнажаются гряды коренных пород. Согласно [Журавлев и др., 2012] они относятся к лудоватой свите рифея. К некоторым грядам причленяются осушные косы. Строение рельефа БЗ показывает, что вдольбереговой поток наносов направлен от устья р. Шойны к ЮЗ и разгружается преимущественно на расстоянии до 5 км от ее устья. Соответственно уменьшается и объем песков, которые с поперечными потоками наносов поступают к урезу, а затем переносятся ветром на современную авандюну и активные дюны.

Северная и южная граница массива активных дюн соответствуют зоне разгрузки вдольберегового потока наносов. Массив состоит из серии коротких и узких гряд (протяженность до 0.3 км, ширина до 0.2 км), ориентированных по нормали к направлению преобладающих и наиболее сильных ЮЗ-Ю ветров [Архив..., 2022]. Локальные гряды группируются в три или четыре гряды протяженностью до 2 км каждая. Они почти параллельны современной БЛ. Фронт этих гряд ориентирован по нормали к т.н. «эффективным», т.е. дующим с моря на сушу, ветрам ССЗ-СЗ румбов. Эти ветры бывают сильными [Архив..., 2022], и могут поставлять из БЗ пески. Сравнение разновременных дистанционных данных показало, что за последние 44 года смещение дюн в сторону суши происходило за счет переувлажнения сухих песков верхнего активного слоя, и было не однонаправленным; зафиксированы также увеличение и уменьшение объемов дюн (подробнее см. статью Е.Д. Вяткина в этом сборнике).

Внутреннее строение дюн с удалением от берега становится более сложным. В разрезах центральной и восточной гряд выделяются 3-4 горизонта эоловых песков, различных по залеганию (Рис. 2).

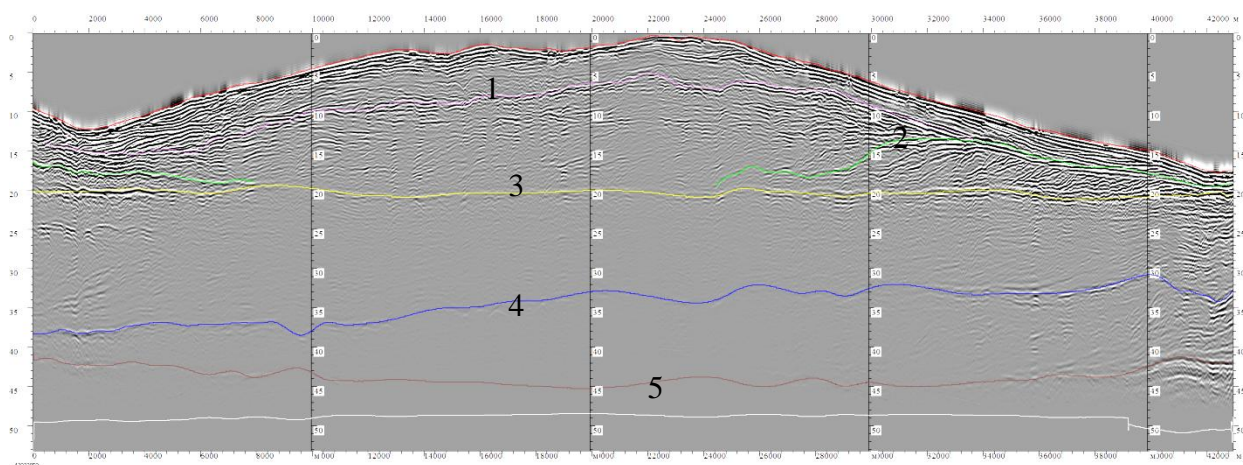


Рис. 2. Внутреннее строение центральной гряды дюн и перекрытой ею морской террасы высотой 7-9 м на георадиолокационном профиле (см. профиль 049 на рис. 1).

Сверху вниз выделены: (1) Горизонтально-слоистые эоловые пески активного слоя; подошва показана розовой линией. (2) Эоловые пески дюнного массива со сложным характером слоистости; их подошва показана желтой линией, а кровля наиболее древних фрагментов дюны – зелеными линиями. (3) Горизонтально или косослоистые морские (?) пески. (4) Морские (?) пески и глины с изменчивым залеганием. (5) Кровля коренных пород (доломиты лудоватой свиты рифея ([Журавлев и др., 2012]). Выполнил А.К. Крехов

Таким образом, источники питания, рельеф, динамика и внутреннее строение активных дюн на левобережье р. Шойны характерны для прибрежных трансгрессивных дюнных полей (*transgressive dunefields*) [Hesp et al., 2002], что позволяет сделать вывод об их длительном развитии.

Причины формирования и относительный возраст дюнного массива могут быть оценены на основании интерпретации георадарных профилей и результатов литолого-стратиграфического изучения разрезов прибрежных террас и донных отложений озёр.

Последовательность отложений, показанная на (Рис. 2), характерна для всей площади дюнного массива. На неровной кровле коренных пород, которая, как и в современной БЗ, иногда образует гряды, повсеместно залегают два изменчивых по простиранию горизонта мощностью до 4-5 м каждый. Они разделены отчетливой эрозионной границей. Верхний из них представлен преимущественно сухими или мокрыми песками ($\epsilon - 5-9$), нижний – мокрыми песками и глинами ($\epsilon - 9-20$). К отложениям нижнего горизонта можно отнести, вероятно, сизо-серые глины с запахом сероводорода (вероятно аллювиально-морского происхождения [Журавлев и др., 2012]), вскрытые на приливной осушке в эстуарии р. Шойны.

Отложения верхнего горизонта слагают *террасу высотой 7-9 м н.у.м.* и изучены в нескольких разрезах. На левом берегу эстуария р. Шойны они залегают под косослоистыми эоловыми отложениями и представлены аллювиально-морскими горизонтально слоистыми песками с остатками растений (~7 м). С удалением от устья на георадарных профилях прослеживается смена горизонтальной слоистости на наклонную, характерную для прибрежно-морских песков.

В тылу террасы, в донных отложениях озёрной котловины (урез 8.6 м), выявлен горизонт, характерный для обстановок, переходных от морских к пресноводным. Наличие в низах торфа крупных фрагментов деревьев, которые в настоящее время в окрестностях не встречаются, позволяют соотнести террасу с трансгрессией среднего голоцена тапес [Лаврова, 1960]. В торфе и гиттии присутствуют опесчаненные прослои, что может свидетельствовать о поступлении в отчленявшийся от моря бассейн эоловых песков.

Более высокая *терраса (10-11 м н.у.м.)* полого наклонена к морю, изменена криогенными процессами и заболочена. В донных отложениях озёр под торфом вскрыты криотурбированные опесчаненные и глинистые алевролиты с включениями макроостатков растений. На георадарных профилях в толще торфа на глубине около 1 м прослеживается кровля ММП, расчлененная таликами. Время формирования террасы может быть предварительно сопоставлено с позднеледниковой трансгрессией [Журавлев и др., 2012]. Возможно, в это же время накопились пески и глины горизонта (4) (Рис. 2).

Терраса на высотах 4-5 м пологим, отчетливым уступом отделена от террасы высотой 7-9 м н.у.м. и окаймляет современный берег широкой полосой. На ее поверхности сохранились заболоченные котловины древних лагун. В БУ вскрыто переслаивание хорошо сортированных и оторфованных песков. Такое строение разреза типично для отложений лайды. Чередование прослоев с преобладанием минеральной и органогенной составляющих позволяет выделить не менее трех этапов активизации выноса песков из БЗ. Формирование террасы предварительно сопоставлено с понижением ОУМ в позднем голоцене.

Таким образом, история развития рельефа в районе устья р. Шойны представляется следующей. Во время трансгрессий, позднеледниковой и среднего голоцена, ОУМ был выше современного. На дне обширного эстуария накапливались аллювиально-морские и морские осадки, более глинистые в позднеледниковом бассейне. Во время регрессии раннего голоцена и последующего подъема уровня, кровля послеледниковых отложений была размита (эта граница отчетливо видна на всех георадарных разрезах).

Во время трансгрессии тапес выступы кровли коренных пород, были ядрами аккумуляции прибрежно-морских наносов. В условиях обильного поступления песков с твердым стоком реки, и их перераспределения на приустьевом взморье вдольбереговыми

и поперечными потоками, на левобережье р. Шойны образовались песчаные бары и лагунные понижения за ними. На растущих барах образовались авандюны, а затем - вероятно, после их приращения к берегу, последовательность авандюн («*foredune plains*») [Hesp *et al.*, 2002] и массив трансгрессивных дюн.

При понижении ОУМ после завершения трансгрессии (в позднем голоцене?) благодаря достаточному питанию берега литодинамическая связь массива дюн сохранилась и является активной до настоящего времени.

Выводы.

1. Дюнный массив на левобережье р. Шойны представляет собой трансгрессивное дюнное поле со сложной историей развития и динамикой. Основным источником питания дюн являются пляжи и приливные осушки морского побережья, куда с вдольбереговыми и поперечными потоками наносов поступает трансформированный на мелководье аллювиальный материал.

2. Начало образования дюн связано, вероятно, с повышением уровня во время трансгрессии среднего голоцена тапес. Ядром аккумуляции прибрежно-морских и эоловых отложений стали выступы коренных пород.

3. На георадарных профилях и в разрезах зафиксировано не менее трех этапов активизации эоловых процессов.

Благодарности. Исследования выполнены за счет гранта РНФ № 22-27-00499.

ЛИТЕРАТУРА

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

Журавлев В. А., Куприн В. Ф., Лукьянова Л. И., Парамонова М. С. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Мезенская. Лист Q-38 – Мезень. Объяснительная записка. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. 311 с.

Лаврова М.А. Четвертичная геология Кольского полуострова. М.-Л. Изд-во АН СССР, 1960.233 с.

Невесский Е.Н., Медведев В.С., Калинин В.В. Белое море. Седиментогенез и история развития в голоцене. М.: Наука, 1977. 236 с.

Архив погоды в Шойне за 2005-2022 гг. [Электронный ресурс]. (<https://rp5.md>). Дата обращения 10.11.2022.

Тайна Шойны. Правила жизни в заполярном поселке, утопающем в песке. РИА Новости. 06.09.2020. [Электронный ресурс] (<https://ria.ru/20200906/pustynya-1576801353.html>). Дата обращения 10.11.2022.

Hesp P.A., Dillenburg S.R., Barboza E.G., *et al.* Beach ridges, foredunes or transgressive dunefields? Definitions and an examination of the Torres to Iramandai barrier system, Southern Brazil // *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 2005. Vol. 77. Is. 3. P. 493-508. doi:10.1590/S0001-37652005000300010

Lancaster N., Wolfe S., Thomas D., Bristow C., Bubenzer O., Burrough S., Duller G., Halfen A., Hesse P., Roskin J., Singhvi A., Tsoar H., Tripaldi A., Yang X., Zárate M. The INQUA Dunes Atlas chronologic database // *Quaternary International*. 2016. Vol. 410. Part B. P. 3-10. doi: 10.1016/j.quaint.2015.10.044.

Ruz M.-H., Hesp P.A. Geomorphology of high-latitude coastal dunes: a review // *Geological Society, London, Special Publications*. 2014. Vol. 388. P. 199-212. doi: 10.1144/SP388.17

**SURFACE TOPOGRAPHY AND INTERNAL STRUCTURE OF THE DUNE COMPLEX
ON THE LEFT BANK OF THE SHOYNA RIVER (THE KANINSKY COAST OF
WHITE SEA). THE RESULTS OF FIELD SURVEYS**

^{1,2}*Repkina T.Yu.*, ²*Leontiev P.A.*, ²*Kublitskiy Yu.A.*, ²*Vyatkin E.D.*, ³*Krekhov A.K.*, ²*Orlov A.V.*

¹Institute of Geography of RAS, Moscow; Russia

²Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg; Russia

³SPBU, Faculty of Physics, St. Petersburg; Russia

We present new data that were generated by comprehensive geological, geomorphological and geophysical studies within the Kaninsky Coast of the White Sea. The set of methods included geomorphological and ground-penetrating radar (GPR) profiling; differential global positioning system (DGPS) and unmanned aerial vehicle (UAV) surveys; sampling of lake sediments for micropaleontological and geochemical analyzes and radiocarbon dating, and dune sands for optically stimulated luminescence (OSL) dating. This study aims to reconstruct the main stages of evolution of the coastal dunes in the Holocene, including their response to relative sea level (RSL) changes. Active dunes at the mouth of the Shoyna river are a transgressive dune field with a complex history of evolution and dynamics. The source of sediments includes sand supply from beaches and intertidal zone. The core of the accumulation of coastal-marine and aeolian deposits are bedrock cusps. GPR profiles and sections recorded at least three stages of accumulation of aeolian sands in the Middle and Late Holocene.

Keywords: *sea coasts, coastal dunes, morphodynamics, RSL, Holocene, UAVs, DGPS, GPR, paleolimnology, Kaninsky Coast, White Sea*