

## НОВЫЕ ДАННЫЕ О СТРОЕНИИ РЕЛЬЕФА И ПОСЛЕЛЕДНИКОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЛЕТНЕГО БЕРЕГА БЕЛОГО МОРЯ

<sup>1,2</sup>Репкина Т.Ю., <sup>2</sup>Кублицкий Ю.А., <sup>2</sup>Леонтьев П.А., <sup>3</sup>Гуринов А.Л., <sup>1,4</sup>Луговой Н.Н., <sup>2</sup>Сердюков А.Г.

<sup>1</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия;  
t-repkina@yandex.ru; lugovoy-n@yandex.ru

<sup>2</sup>РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия; uriy\_87@mail.ru; barograph@yandex.ru;

<sup>3</sup>РУДН, Москва, Россия; gurinov.artem@gmail.com

<sup>4</sup>Институт географии РАН, Москва, Россия

Представлены результаты новых полевых исследований рельефа и послеледниковых отложений, выполненных на северо-восточном берегу Онежского полуострова, на участке между с. Лопшеньга и д. Яреньга (Летний берег Белого моря). Комплекс методов включал геоморфологическое и георадарное профилирование, съемку DGPS и БПЛА, бурение донных отложений озёр с отбором кернов на микропалеонтологический и геохимический анализы и радиоуглеродное датирование. Целью работ были реконструкция морфодинамики берегов и хода относительного уровня моря в голоцене. Выявлены три уровня террас: 1) 10-15 м; 2) 7-9 и 5-6 м; 3)  $\leq 2.5$ -3 м н.у.м, формирование которых может быть предварительно отнесено ко времени позднеледниковой трансгрессии, среднему и позднему голоцену соответственно.

Ключевые слова: морские берега, морфодинамика, относительный уровень моря, голоцен, палеолимнологические исследования, БПЛА, DGPS, георадар, Летний берег, Белое море

Геолого-геоморфологическое строение Онежского полуострова неоднократно изучалось в рамках научных [Лаврова, 1931] и геолого-съёмочных работ [Государственная..., 1999 и др.]. В последнее десятилетие на ключевых участках побережья полуострова проводятся детальные исследования морфодинамики берегов и хода относительного уровня моря в голоцене [Kemp et al., 2017, Репкина и др., 2018a, 2018b, 2019, 2020, 2021, Kublitskiy et al., 2020]. Сгущение сети наблюдений позволяет приблизиться к пониманию закономерностей изменений относительного уровня моря и роли гляциоизостатического, тектонического и климатического факторов динамики берегов на периферии Фенноскандинавского ледникового щита. Так, установлено, что скорость послеледникового поднятия полуострова уменьшается от его северо-западной оконечности к депрессии Унской губы почти в 2 раза: от  $\sim 2.8$ - $2.9$  мм/год до  $\sim 1.3$ - $1.9$  мм/год [Репкина и др., 2018b, 2020]; выявлены различия динамики RSL в пределах соседних морфоструктурных блоков [Репкина и др., 2020] и признаки повышения RSL, связанные, вероятно, с периодами штормовой активности [Репкина и др., 2018a, 2019, 2020]. В 2021 г. полевые работы были выполнены на участке Летнего берега от с. Лопшеньги до д. Яреньги, строение рельефа которого отличается от изученных ранее районов.

**Материалы и методы.** Комплекс полевых методов включал геоморфологическое и георадарное профилирование, бурение донных отложений озёр Кобыльго (урез 11 м н.у.м.), Чевакино (урез 7.0 м) и Лопшеньгского (урез 1.0 м) с отбором кернов на микропалеонтологический и геохимический анализы и радиоуглеродное датирование. В районе д. Яреньги проведены съемки DGPS и БПЛА.

Георадарное профилирование выполнено при помощи георадара Zond-12e и антенн с частотой 300 и 500 МГц. Средняя глубинность съемки при использовании антенны 500 МГц составила 7-10 м, а антенны 300 МГц – 10-15 м при разрешающей способности не более 0.5 и 1 м соответственно. На камеральном этапе для нескольких ключевых участков проведена обработка и интерпретация радарограмм. Интерпретация выполнена с помощью ПО Prism 2.5 и RadExplorer 1.42. Применялись алгоритмы амплитудной коррекции, фиксации времени первого вступления, редакции трас, полосовой фильтрации, а также ввод данных о превышениях («Топография»). Высотное положение маркеров введено по ЦММ, данным

съемки DGPS и ручным уровнем. Интерпретация радарограмм выполнена на основе анализа волновой картины согласно стандартной методики [Старовойтов, 2008].

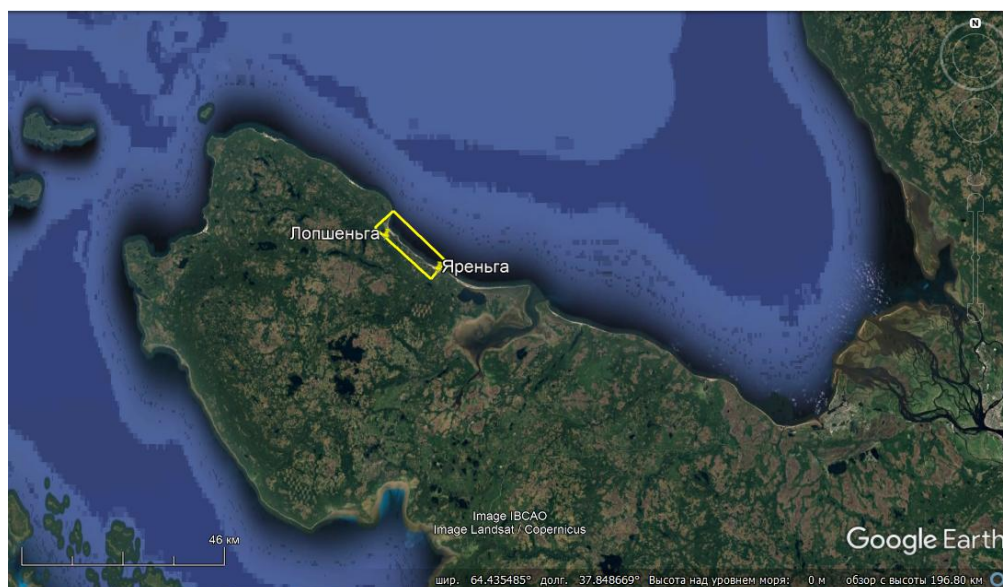


Рис. 1. Положение участка исследований

Бурение донных отложений озёр осуществлялось с помощью русского торфяного бура. Образцы для аналитических исследований отбирались в пластиковые трубы длиной по 1 м с перекрытием 10 см. Максимальная глубина скважин составила ~8 м. В результате охарактеризованы отложения, залегающие на отметках от -8.6 до +11 м н.у.м.

В районе д. Яреньги 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. На остальных участках высотная привязка геоморфологических и георадарных профилей осуществлялась с помощью ручного уровня CST Berger 17-632 Hand Sight Level и мерной рейки.

**Комплекс террас** примыкает к краевым постройкам невской стадии деградации последнего оледенения [Государственная..., 1999]. Терраса на высотах 10-15 м полого наклонная, абразионно-аккумулятивная. Ее тыловой шов примыкает к абразионному уступу. Формирование террасы М.А. Лаврова [1931] на основании палеонтологических и микропалеонтологических данных сопоставляет с позднеледниковой трансгрессией. По данным [Государственная..., 1999] отложения этой трансгрессии - пески, супеси и глины, прослеживаются до ~20 м н.у.м. Однако на высотах более 15 м морфологических признаков воздействия береговых процессов на ледниковый рельеф нами не обнаружено.

Голоценовые морские террасы отделены от вышележащей абразионным уступом; окаймляют берег неширокой (до 400 м) полосой, а у мыса Никольского образуют аккумулятивный выступ. Терраса высотой 7(8)-9 м изучена на левобережье р. Яреньги. Ее песчаный чехол террасы состоит из двух пачек. Нижняя - горизонтально слоистая, с размывом залегает на сизо-серых плотных алевритах с включениями обломочного материала и растительных остатков, накопившихся ранее 9.5-9.4 тыс. кал.л.н. [Репкина и др., 2018b], вероятно, во время позднеледниковой трансгрессии. Верхнюю пачку слагают косослоистые пески, образующие на поверхности террасы береговые валы. На георадарных профилях в

понижениях между валами прослеживаются лагунные осадки. Северо-западнее с. Лопшеньга, где террасовый комплекс сужается, примыкая к моренным постройкам, терраса высотой 7(8)-9 м узкая, преимущественно абразионная. Формирование террасы предварительно можно сопоставить с трансгрессией среднего голоцена тапес, датированной на северо-западе Онежского полуострова интервалом ~8.2–5.8 тыс. кал. л. н. [Репкина и др., 2020].

Террасы на высотах 5-6 и 2.5-3 м н.у.м. преимущественно аккумулятивные, песчаные, с перевейными береговыми валами. Верхний их них М.А. Лаврова [1931] соотносит с трансгрессией среднего голоцена тапес, а нижний относит к позднему голоцену. Современная терраса распложена на высотах до 1 м, со стороны моря она окаймлена авантюной (до 1.5-2 м), на поверхности террасы присутствуют следы заплеска сильных штормов.

**Котловины изученных озер** ограничены со стороны суши постройками краевой морены, а со стороны моря - разобщенными, невысокими (до 20-30 м) моренными грядами и холмами. Озера Кобылье (урез 11 м) и Чевакино (урез 7 м) расположены в депрессии сложной конфигурации, имеют неровные плановые очертания и соединены между собой сухой протокой. При положении относительного уровня моря на отметках 11 м и более, они были, вероятно, частями единой системы проливов, соединявшей с морем эстуарий одной из небольших рек. В настоящее время озеро Чевакино является бессточным. Котловина озера Кобыльего дренируется рекой, впадающей на юге и вытекающей на севере котловины. Озеро Лопшеньгское расположено в удлиненной депрессии и представляет собой остаточный водоем, сформировавшийся в приустьевой части эстуария одноименной реки. На северо-востоке котловины из озера вытекает река Голодеиха, которая впадает в Двинский залив в 2.5 км от истока. Русло реки отделяет террасу на высотах 10-15 м от комплекса голоценовых террас и отклонено к юго-востоку действием преобладающего потока наносов. В верхнем течении река спрямлена каналом, открывающимся в Двинский залив в ~0.8 км восточнее истока. По сообщениям местных жителей, морские воды не попадают в озеро даже в штормовые нагоны; колебания уровня связаны с режимом р. Лопшеньги. Таким образом, учитывая отметки урезов озёр и строение террасового комплекса, можно предполагать, что котловина оз. Кобыльего была отделена от моря после завершения позднеледниковой трансгрессии, котловина оз. Чевакино - в среднем голоцене, а в котловину оз. Лопшеньгского морские воды могли проникать вплоть до позднего голоцена.

**Строение донных отложений озёр** имеют значительную мощность. В озёрах Кобылье и Чевакино она возрастает от бортов к центру котловин, где достигает ~6.5-7 м; иногда под горизонтально слоистыми осадками на георадарных профилях видна кровля морены. В озере Лопшеньгском мощность донных осадков - ~ 7.5 м; они залегают на горизонтально слоистых, вероятно глинистых, отложениях. В проточных озёрах Чевакино и Лопшеньгском в кровле озёрных отложений фиксируются эрозионные врезы.

В донных отложениях озера Кобыльего (320-967 см от поверхности воды), выделяются пять горизонтов. На плотных опесчаненных сизо-серых суглинках с макроостатками (1) залегают торф с обломками древесины (11 см) (2); его накопление по аналогии с такими же отложениями из озера Мураканского [Kublitskiy et al., 2020], может быть предварительно сопоставлено с регрессией раннего голоцена. Перекрывающие торф оторфованные алевриты сменяются вверх по разрезу слоистыми и тонкослоистыми алевритами от серо-коричневого до серовато-оливкового цвета (168 см) (3). Выше залегают переслаивающиеся серо-бежевые, коричневые и светло-серые опесчаненные алевриты (145 см) (4). Нижняя половина толщи содержит оторфованные прослои и обломки древесины. Состав осадков указывает на изменчивые условия накопления, которые возможно, могли быть связаны с близостью к берегу моря во время трансгрессии тапес. Верхний горизонт разреза представлен озерными отложениями - гомогенной коричневой гиттией, иногда обогащенной алевритом (330 см) (5).

Донные отложения озера Чевакино (280-920 см) имеют сходный характер напластования. Однако состав отложений горизонтов (3) и (4) не идентичен осадкам из оз. Кобыльего. Над торфом (4 см) залегают серые и темно-серые опесчаненные, а в верхах толщи - глинистые алевриты, гомогенные или с периодической слоистостью, содержащие остатки

растений и, возможно, гидротроиллит (201 см). Алевриты «пестрого» горизонта (180 см) содержат больше песка и меньше органических включений. Вероятно, они могли накопиться в конце трансгрессии тапес, на этапе обособления замкнутого залива от моря.

Донные отложений оз. Лопшеньгского (180-938 см) разнообразнее. В низах разреза вскрыты (20 см) плотные опесчаненные суглинки с красноватыми и черными примазками (1), возможно, - перемытые ледниковые отложения. Над ними с эрозионным контактом залегают суглинистые пески с обрывками растений (32 см) (2), перекрытые алевритовой гиттией (11-20 см) (3), а затем - опесчаненными алевритами с детритом и целыми раковинами морских моллюсков (101 см) (4). Гранулометрический состав песков указывает на постепенное увеличение, а затем снижение гидродинамической активности. Похожие отложения М.А. Лаврова [1931] относит к заключительным этапам позднеголоценовой трансгрессии. В дельте р. Северной Двины пески с фауной морских моллюсков залегают под раннеголоценовым торфом [Кошечкин, 1979]. Переходный горизонт (5) имеет большую мощность (436 см), представлен переслаиванием серых, черных и темно-оливковых опесчаненных алевритов с остатками растений и единичными фрагментами древесины. Гранулометрический состав верхних горизонтов разреза, состоящих из опесчаненной алевритистой гиттии (52 см) (6) и опесчаненного алеврита (42 см) (7), говорит о колебаниях гидродинамической активности на заключительных этапах накопления донных отложений.

**Выводы.** Строение рельефа и донных отложений озёр позволяет наметить последовательность развития берегов участка. Во время максимума позднеледниковой трансгрессии (~13-11.5 тыс.кал.л.н.) [Колька, Корсакова, 2017] относительный уровень моря, вероятно, был выше современного на ~15 м. На склонах моренных гряд формировались террасы, а в устьях рек существовали эстуарии. Во время регрессии раннего голоцена (~11.5-9.8 тыс.кал.л.н.) [Колька, Корсакова, 2017] котловины озёр Кобыльего и Чевакино были осушены. В устье р. Лопшеньги следы регрессии не обнаружены. По-видимому, устье реки смещалось вслед за отступившим морем, а ее русло врезалось в накопившиеся ранее осадки. В среднем голоцене, во время трансгрессии тапес (~8.2-5.8 тыс. кал. л. н.) [Репкина и др., 2020], относительный уровень моря достиг отметок ~9 м, а затем постепенно понижался. Сформировались террасы высотой 7-9 и 5-6 м над современным уровнем моря. В позднем голоцене относительный уровень моря постепенно понижался, образовались террасы на высотах 2.5-3 м и современная (до 1 м). Хронология событий будет уточнена после аналитической обработки кернов.

Отличительная особенность донных отложений трех изученных озёр - значительная (145-436 см) мощность переходного горизонта. Она превышает таковую в озёрах как быстро воздымающейся северо-западной [Репкина и др., 2017, 2020], так и отстающей в поднятии центральной [Kublitskiy et al., 2020] частей полуострова. Причина этого пока не понятна и, возможно, связана с соотношением скоростей относительного поднятия и эвстатических колебаний уровня моря.

**Благодарности.** Работы выполнены согласно договору о научном сотрудничестве между ФГБУ «Национальный парк «Кенозерский» и МГУ имени М.В.Ломоносова (географический факультет) № 325 от 17.05.2017 г. при поддержке проектов РФФИ 19-05-00966 (полевые геоморфологические исследования) и 18-05-60200 (съёмка БПЛА и DGPS), ГЗ при финансовой поддержке Минпросвещения России (проект № FSZN-2020-0016) (палеолимнологические исследования), «Программы стратегического академического лидерства РУДН» (георадиолокационные исследования) и ГЗ № 121040100323-5 (геоморфологическое дешифрирование).

## ЛИТЕРАТУРА

Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание 2е. Серия Онежская, листы Q-37- XXV,XXVI. Т.Н. Зоренко, Г.М. Черемхина, В.С. Корепанов, Л.С. Вертунова, В.И. Левин, А.Е. Рыбалко / Ред. Ю.Г.Старицкий. Спб.: ВСЕГЕИ, 1999.51 с.

Колька В.В., Корсакова О.П. Положение береговой линии Белого моря и неотектонические движения на северо-востоке Фенноскандии в позднеледниковье и голоцене // Система Белого моря. Т. IV. Процессы осадкообразования, геология и история. М.: Научный мир, 2017. С. 222-249.

Кошечкин Б.И. Голоценовая тектоника восточной части Балтийского щита. Л.: Наука, 1979. 157 с.

Лаврова М.А. К геологии Онежского полуострова Белого моря. / Тр. Геол. музея Ак. Наук. Л.: 1931. Т. VIII. 70 с.

Репкина Т.Ю., Зарецкая Н.Е., Субетто Д.А., Потахин М.С., Кунгаа М.Ч., Новикова А.В., Леонтьев П.А. Морфодинамика берегов северо-запада Онежского полуострова Белого моря в голоцене. Губа Конюхова // Труды Карельского научного центра РАН. 2018. № 1. С. 3-22. doi:10.17076/bg717

Репкина Т. Ю., Зарецкая Н. Е., Шилова О. С. Двинский залив Белого моря в позднеледниковье – раннем голоцене // Геоморфология. 2018. № 2. С. 71–87. doi:10.7868/S0435428118020062

Репкина Т.Ю., Романенко Ф.А., Зарецкая Н.Е., Кублицкий Ю.А., Леонтьев П.А., Шилова О.С., Беличенко А.Е., Архипов В.В., 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”, место издания ИО РАН Москва, 2019, Т.3, С. 212-216.

Репкина Т.Ю., Романенко Ф.А., Лудикова А.В., Зарецкая Н.Е. Северо-западные берега Онежского полуострова Белого моря в голоцене: условия развития, динамика, хронология // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2020. Т. 84, № 6. С. 888–904. doi:10.31857/S2587556620060096

Репкина Т.Ю., Луговой Н.Н., Гуринов А.Л., Романенко Ф.А. Антропогенная трансформация эолового морфолитогеоза на берегах Белого моря // География: развитие науки и образования. Сборник статей по материалам ежегодной международной научно-практической конференции LXXIV Герценовские чтения. Т. 1. Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена Санкт-Петербург, 2021. С. 158–162.

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

Kemp A.C., Horton B.P., Nikitina D.L. et al. The distribution and utility of sea-level indicators in Eurasian sub-Arctic salt marshes (White Sea, Russia) // Boreas. 2017. doi:10.1111/bor.12233

Kublitskiy Y.A., Repkina T.Y., Leontiev P.A., Zaretskaya N.E., Peretruxhina A.O., Shilova O.S., Subetto D.A., Seung Il Nam, Jung-Hyun Kim Reconstruction of the relative sea-level (RSL) of the Gulf of Dvina (White Sea) based on the study of lake sediments on the Onega Peninsula // Limnology and Freshwater Biology. 2020. №4. P 451-452. doi:10.31951/2658-3518-2020-A-4-451

## NEW DATA ON THE STRUCTURE OF THE RELIEF AND POSTGLACIAL DEPOSITS OF THE LETNIY COAST OF THE WHITE SEA

<sup>1,2</sup>Repkina T.Yu., <sup>2</sup>Kublitskiy Yu.A., <sup>2</sup>Leontiev P.A., <sup>3</sup>Gurinov A.L., <sup>1,4</sup>Lugovoy N.N., <sup>2</sup>Serdyukov A.G.

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Faculty of geography, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Herzen State Pedagogical University of Russia, Sankt-Petersburg; Russia

<sup>2</sup>RUDN University, Moscow, Russia

<sup>5</sup>Institute of Geography of RAS, Moscow; Russia

The results of new field studies of the relief and postglacial deposits, carried out on the northeastern coasts of the Onega Peninsula, in the area between the villages Lopshenga and Yarenga (Letniy Coast of the White Sea). The set of methods included geomorphological and GPR profiling, DGPS and UAV surveys and drilling of bottom sediments of lakes with core sampling for micropaleontological and

geochemical analyzes and radiocarbon dating. The aim of the work was to reconstruct the morphodynamics of the coasts and the RSL change in the Holocene. Three levels of terraces have been identified: 1) 10-15 m; 2) 7-9 and 5-6 m; 3)  $\leq 2.5-3$  m a.s.l., the formation of which can be tentatively attributed to the time of the late glacial transgression, middle and late Holocene, respectively.

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