

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГОЛОЦЕНОВОЙ МОРФОДИНАМИКИ ЗИМНЕГО И АБРАМОВСКОГО БЕРЕГОВ БЕЛОГО МОРЯ

^{1,2,3}Репкина Т.Ю., ²Леонтьев П.А., ⁴Крехов А.К., ^{1,5}Луговой Н.Н., ²Вяткин Е.Г., ²Орлов А.В.,
⁶Корсакова О.П.

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

²РГПУ им. А. И. Герцена, г. Санкт-Петербург, Россия; barograph@yandex.ru;
Egrvyatkin@gmail.com; 95orlov@rambler.ru;

³Институт Океанологии РАН, Москва, Россия;

⁴СПбГУ, физический факультет, Санкт-Петербург; 1415kon@mail.ru;

⁵Институт географии РАН, Москва, Россия;

⁶Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия; korsak@geoksc.apatity.ru

Проведены геолого-геоморфологические и геофизические исследования побережья Белого моря на границе Зимнего и Абрамовского берегов. 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. По предварительным данным, на северо-востоке пролива Горло относительный уровень моря поднимался в среднем-позднем голоцене не более чем на 1-2.5 м, а в эстуарии р. Койды - не более чем на 0,5 м выше современного уровня полной воды сизигии.

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

Северо-восточное побережье пролива Горло и западное побережье Мезенского залива Белого моря расположены между краевыми образованиями невской и лужской стадий деградации последнего оледенения [Государственная..., 2010]. Полагают, что на северо-востоке Зимнего берега послеледниковое поднятие затухает [Ramsay, 1898], сменяясь компенсационным гляциоизостатическим или тектоническим погружением [Победоносцев, Розанов, 1971] или очень слабым поднятием [Гидрометеорология..., 1991, Авенариус, 2004]. Однако фактических данных, которые могут быть использованы для реконструкции историю развития берегов и динамики относительного уровня моря (ОУМ) этого района крайне мало [Ramsay, 1898, Победоносцев, Розанов, 1971, Соболев, 2008, Demidov et al., 2006]. Чутким индикатором положения ОУМ являются формы берегового рельефа и осадки прибрежных водоемов. Из-за быстрого отступления берегов, продолжающегося со среднего голоцена [Невесский и др., 1977], аккумулятивные береговые формы сохранились преимущественно в устьевых областях рек. Поэтому основными объектами наших исследований были приустьевые косы и низкие террасы в эстуариях рек Майды (пролив Горло) и Койды (Мезенский залив). Изучен также безымянный палеозалив в 13 км к СВ от р. Майды, в районе избы Половинной (Рис. 1).

Материалы и методы. Полевые работы включали геоморфологическое и тахеометрическое профилирование, съемку БПЛА, георадиолокационные исследования, а также литолого-фациальный анализ отложений в разрезах и скважинах ручного бурения с отбором образцов на диатомовый, геохимический и радиоуглеродный анализы. Тахеометрическое профилирование выполнено с помощью DGPS PrinCe i50, аэрофотосъемка - квадрокоптером DJI Phantom 4 Pro v2.0. Георадиолокационные исследования проведены с помощью георадара ОКО (антенные блоки 150 и 400 МГц). Для определения диэлектрической проницаемости отложений на каждом из ключевых участков было выполнено вертикальное зондирование. Ручное бурение осуществлялось с помощью русского торфяного бура.

Морфодинамика современных берегов изучена в ходе вдольбереговых маршрутов, а также по разновременным картам и космическим снимкам.

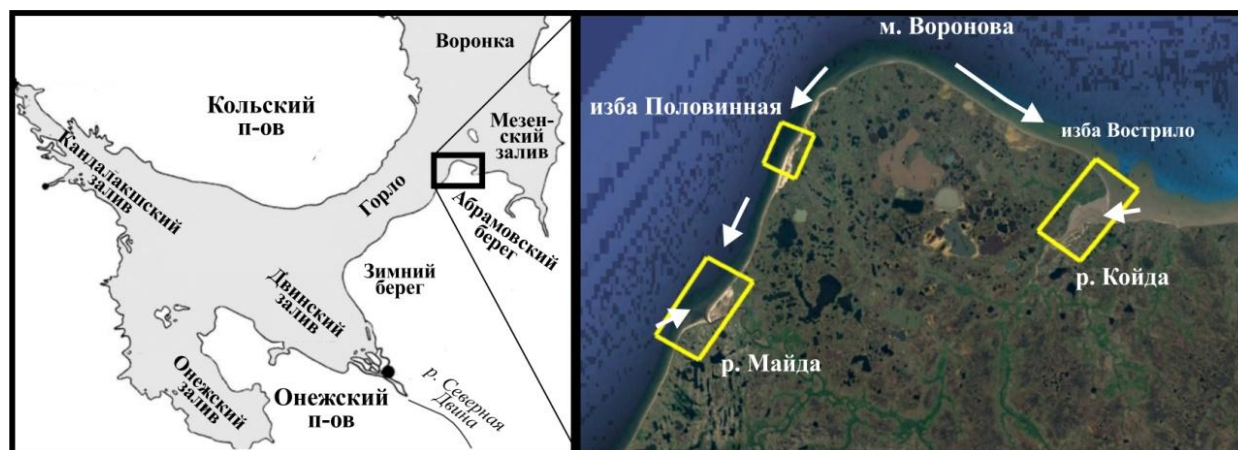


Рис. 1. Положение ключевых участков (показаны желтыми прямоугольниками). Стрелками показано преобладающее направление потоков наносов (составлено с использованием спутниковых изображений GoogleEarth)

Результаты исследования. Современные берега района развиваются в условиях высокой волновой активности, большей в проливе Горло, и значительных приливных и сгонно-нагонных колебаний уровня моря, величина которых увеличивается от устья р. Майды до устья р. Койды с ~ 3 до ~ 6.2 и с ~ 5.5 до ~ 7.5 м соответственно [Гидрометеорология..., 1991]. Преобладание волн северных румбов [Гидрометеорология..., 1991] определяет генеральное направление потоков наносов - к ЮЗ и ЮВ от м. Воронов (Рис. 1). Благодаря конфигурации береговой линии и подводного берегового склона вблизи устьев реки, и, реже, на других участках, возникают локальные потоки наносов встречных направлений.

Эстуарий р. Майды - область устойчивой приустьевой аккумуляции. Приливные колебания распространяются на ~ 13 км выше устья. В эстуарии развиты песчаные и илистые осушки (абс. отметки $-1.2 - 1.5$ м) и современные аллювиально-морские террасы - лайды и поймы, осложненные гривами и каналами стока (абс. отметки $1.5 - 2.2-2.5$ м). Лайды сложены тонко- и мелкозернистыми алевритистыми песками, перекрытыми алевритами с органическими остатками.

Лайды и поймы отделены эрозионными уступами от заболоченных, плоских сегментов аллювиально-морской террасы (абс. отметки $2.5-4.0$ м), сформировавшейся, вероятно, в среднем-позднем голоцене. Терраса примыкает к отчетливому уступу, выработанному в отложениях ледникового комплекса, и заполняет днище долины на участке ~ 20 км от устья. В тыловом шве ближайшего к устью сегмента террасы эрозией вскрыто лагунное понижение, ограниченное перевеянной песчаной косой. Террасы сложены торфом мощностью $0.6-2.0$ м, сменяющимся вниз по разрезу оторфованными, а затем - сизо-серыми опесчаненными алевритами с примазками гидротроилита и остатками растений. Контакт болотных отложений с осадками палеоэстуария фиксируется на высотах $1.6-2.1$ м, т.е. на уровне современных приливных колебаний.

На открытом побережье к абразионным уступам и моренным грядам высотой $7-30$ м примыкают приустьевые косы. На левом берегу реки коса узкая ($200-300$ м), ее корень активно размывается, а в дисталь нарастает, отклоняя к СВ устье р. Майдицы. Коса состоит из трех параллельных БЛ перевеянных валов (абс. отметки $2.1-2.5$ м), сложенных песками с наклонной слоистостью. Понижения между валами (абс. отметки $1.1-1.5$ м) заливаются в приливы и штормы. На отметках $2.5-4$ м подножие абразионного уступа окаймлено узкой ($2-6$ м) ступенью, сложенной горизонтально слоистыми песками, - сохранившимся от размыва останцом террасы, сформированной при более высоком положении ОУМ. Морские и эоловые пески мощностью до $4-6$ м залегают на неровной кровле морены.

Коса на правом берегу р. Майды - крупный (длина ~3 км, ширина до ~1.5 км) комплекс перевеянных береговых валов, авандюн и дюн. В ее дистали берег выдвигается за счет накопления на осушке и пляже песков, поступающих со стоком реки и с вдольбереговым потоком наносов. Корень косы примыкает к холмам, сложенным с поверхности мореной. Пляжи и абразионные уступы окаймлены авандюнами высотой от 1-2 м в корне до 4-5 м в дистали косы. Бережнее современной авандюны от корня косы субпараллельно или под углом к БЛ протягиваются четыре гряды дюн (абс. отметки 7-22 м), наложенных на «фоновую» поверхность (абс. отметки 2.0-4.5 м, в основном, - 2.5-3.5 м) со сглаженными дефляцией песчаными береговыми валами. В тылу некоторых из них сохранились засыпанные песком остаточные озёра. На георадарных профилях выделяются: (1) эоловые пески (мощность 1-20 м), (2) морские пески (мощность 15-20 м) и (3) неровная кровля морены, иногда бронированная каменными отморстками (Рис. 2).

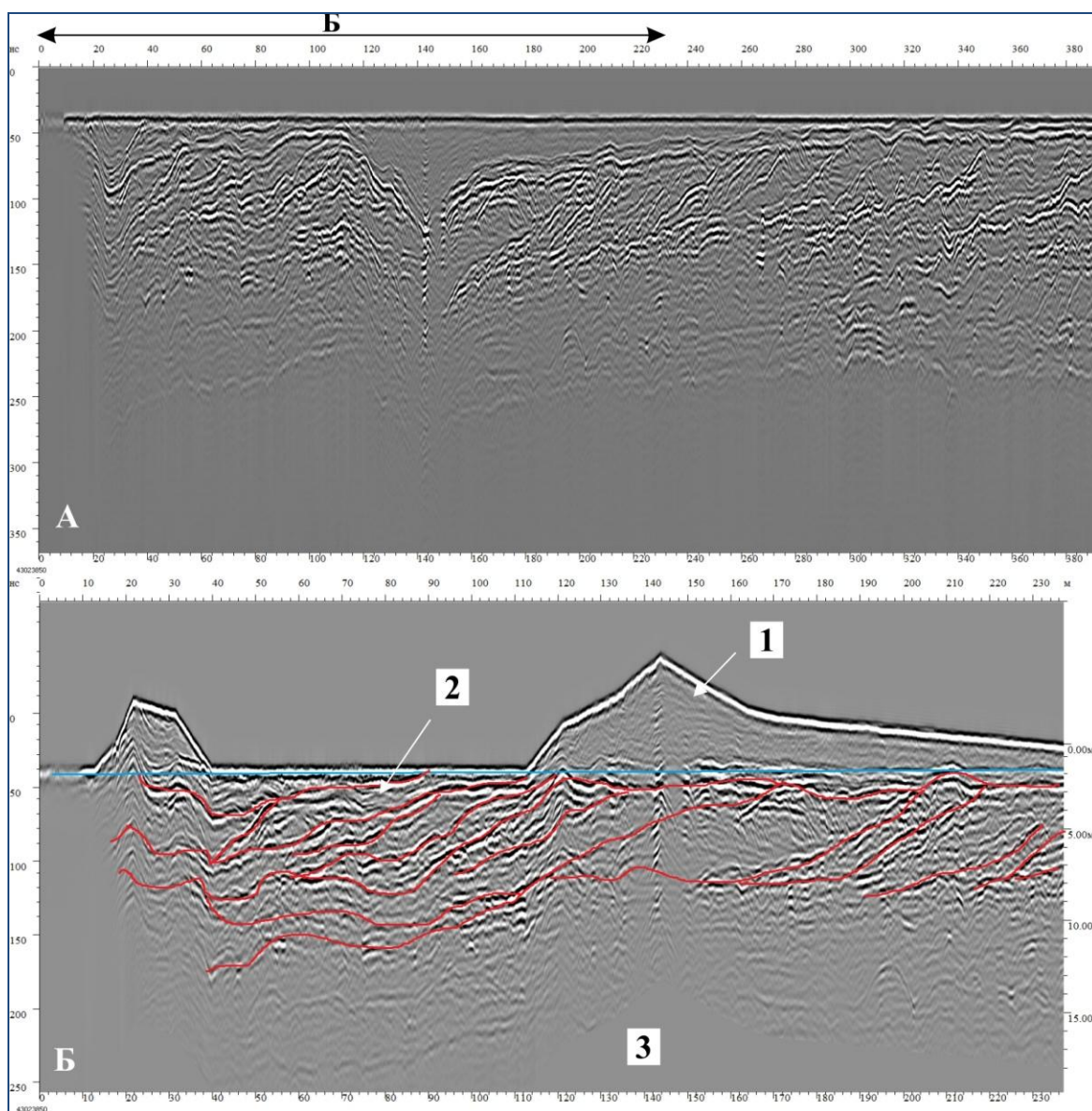


Рис. 2. Пример георадарного профиля через приустьевую косу на правом берегу р. Майды. А - не обработанный профиль, Б - фрагмент профиля после первичной обработки (положение показано на рис. А черной стрелкой). Выполнил А.К. Крехов

Между 1ой и 3ей от современной БЛ грядами дюн морские пески наклонно-слоистые, мощностью 15-20 м. Далее вглубь суши строение горизонта меняется. Между 3ей и 4ой грядами пески приобретают горизонтальную слоистость, а их мощность сокращается до 15 м.

Восточнее 4ой гряды видны две пачки горизонтально-слоистых песков, разделенных эрозионным контактом. Верхняя (2 м) образует линзы; нижняя (10 м) прослеживается непрерывно, залегают на кровле морены и содержит обломки.

Коса отделяет от коренного берега заболоченную палеолагуна (высоты 2.5-5.4 м). Ее отложения, вскрытые на отметках ~3 м, практически аналогичны осадками аллювиально-морской террасы с теми же высотами. Болотные отложения сменяются лагунными на абс. отметках ~2 м. В тыловой части лагуны (высоты 4.0-4.4 м), вскрытой береговым уступом, под золовыми песками и торфом залегают две пачки сизо-серых алевроитов и песков, разделенных торфяным прослоем. Постепенная смена лагунных осадков болотными фиксируется на абс. отметках 2.7-2.9 и 1.4-1.5 м.

Таким образом, в устьевой области р. Майды предварительно, до получения результатов аналитических исследований, можно выделить не менее двух этапов формирования приустьевых кос и заполнения эстуария, сопровождавшихся незначительными колебаниями ОУМ. На первом этапе (ОУМ на отметках до ~2.5 м), который, вероятно, можно соотнести с трансгрессией тапес, на правом берегу реки сформировались 4ая и 3ья генерации кос и дюнных гряд, а в эстуарии - обширная аллювиально-морская терраса. На втором (ОУМ на отметках до ~3 м), вероятно, в позднем голоцене, образовались 2ая и 1ая дюнные гряды на правобережье реки и приустьевая коса на ее левом берегу, а аллювиально-морские террасы были частично перестроены. Максимальный зафиксированный подъем ОУМ всего на 1.5 м превышает современный уровень полной воды сизигия (ПВС). На больших высотах (до ~5.5 м) пески, сформировавшиеся, вероятно, в прибрежно-морских условиях, выполняют днища ложбин, и могут быть предварительно соотнесены с позднеледниковой трансгрессией.

В районе **избы Половинной** строение прибрежных форм подтверждает, выводы о наличии двух этапов развития берега и незначительных колебаниях ОУМ. К абразионному уступу высотой 20-25 м, выработанному в отложениях ледникового комплекса [*Государственная...*, 2010] и перекрытому золовыми песками мощностью до 2м, с мористой стороны примыкает аккумулятивная терраса с перевейными береговыми валами (абс. отметки 2.5-4 м). По строению она близка к левобережной косе р. Майды. На заболоченном днище безымянного палелозалив (длина ~5 км, ширина до 1 км) выделяются две ступени с отметками ~5 м, и ~7.5 м, разделенные уступом. Контакт болотных и лагунных отложений зафиксирован в нескольких скважинах на отметках 4.2-4.5 м, т.е. не более чем на 2 м выше современного уровня ПВС.

Характерные черты берегов **Мезенского залива** - чрезвычайно высокая скорость размыва и присутствие на осушке пластов торфа, залегающих на плотных сизо-серых суглинках с растительными остатками. Аналогичные отложения заполняют многочисленные ложбины, вскрытые в береговых уступах. Поэтому присутствие торфа ниже современного уреза может быть связано как с понижением ОУМ, так и с быстрым отступанием берега. Современные аккумулятивные формы низкие (до 3.3 - 3.5 м при положении ПВС ~3.0 м), плоские, заливаются в нагоны и штормы.

На правом берегу **эстуария р. Койды** на абс. отметках 4.5-7.5 м развита терраса, формирование которой может быть предварительно соотнесено с трансгрессией тапес. Она сложена мелко- и среднезернистыми песками с гравием и галькой, залегающими на сизо-серых суглинках и перекрытыми торфом. На контакте торфа и песков (абс. отметки 3.4-3.5 м) развиты криотурбации. Тыловой шов террасы примыкает к абразионному уступу, выработанному в моренной гряде (абс. отметки 12.5-15 м). На георадарных профилях в подошве чехла террасы видны эрозионные врезы. Таким образом, ОУМ в голоцене, возможно, превышал современный, но не более чем на 0.5 м; в это время в эстуарии р. Койды накапливались пески.

Выводы. Строение прибрежного рельефа и отложений на северо-востоке пролива Горло позволяет выделить не менее двух этапов развития берега после раннеголоценовой регрессии. Они незначительно отличались положением относительного уровня моря (до 1-2.5 м выше современного) и гидродинамическими условиями в береговой зоне. В эстуарии р. Койды

формы берегового рельефа сохранились значительно хуже; относительный уровень моря колебался, вероятно, около современных отметок.

Благодарности. Полевые работы выполнены в рамках тем ГЗ № 121040100323-5, ГЗ при финансовой поддержке Минпросвещения России (проект № FSZN-2020-0016), ГЗ № 0128-2021-0016 при поддержке проектов РФФИ 19-05-00966 и 20-05-00613.

ЛИТЕРАТУРА

Авенариус И.Г. Морфоструктура Беломорского региона // Геоморфология. 2004. № 3. С. 48-56.

Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. II. Белое море. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 240 с.

Государственная геологическая карта РФ масштаба 1:1000 000. Лист Q-37 с акваторией (Архангельск). Объяснительная записка. СПб.: МАГЭ, ВСЕГЕИ, 2010. 338 с.

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

Победоносцев С.В., Розанов Л.Л. Современные вертикальные движения берегов Белого и Баренцева морей // Геоморфология. 1971. № 3. С. 57-62.

Соболев В.М. Состав, стратиграфия позднечетвертичных отложений Горла Белого моря и основные черты его палеогеографии // Проблемы палеогеографии и стратиграфии плейстоцена. М.: Изд-во МГУ, 2008. С. 144–156.

Demidov I.N., Houmark-Nielsen M., Kjaer K.H., Larsen E. The last Scandinavian Ice Sheet in northwestern Russia: ice flow patterns and decay dynamics // *Boreas*. 2006. Vol. 35. P. 425-433. doi:10.1080/03009480600781883

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

RESULTS OF FIELD STUDIES OF HOLOCENE MORPHODYNAMICS OF THE WINTER AND ABRAMOV COAST OF THE WHITE SEA

^{1,2,3}*Repkina T.Yu.*, ²*Leontiev P.A.*, ⁴*Krekhov A.K.*, ^{1,5}*Lugovoy N.N.*, ²*Vyatkin E.G.*, ²*Orlov A.V.*,
⁶*Korsakova O.P.*

¹Lomonosov Moscow State University, Faculty of geography, Moscow, Russia

²Herzen State Pedagogical University of Russia, Sankt-Petersburg, Russia

³Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia

⁴SPBU, Faculty of Physics, St.Petersburg, Russia

⁵Institute of Geography of RAS, Moscow, Russia

⁶Geological Institute of the Kola Scientific Center of RAS, Apatity, Russia

Geological, geomorphological and geophysical studies of the Zimny and Abramovskiy coasts of the White Sea have been carried out. 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. According to preliminary data, the relative sea level in the northwest of the Gorlo Strait in the Holocene was 1–2.5 m, and in the estuary of the river Koyda - ≤0.5 m higher than the average modern Mean High Water Springs (MHWS).

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