

**Тенденции развития рельефа фиардово-шхерных побережий по данным крупномасштабного геоморфологического картографирования берегов и дна пролива Великая Салма (Кандалакшский залив Белого моря)**

**Репкина Татьяна Юрьевна**, Аляутдинов Али Раисович, Ильясов Аскар Кургамысович, Луговой Николай Николаевич, Мишурицкий Дмитрий Владимирович, Романенко Фёдор Александрович, Тарнопольский Дмитрий Александрович, Энтин Андрей Львович

Географический факультет Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова (ФГБУ), г. Москва

Рельеф дна заливов и проливов фиардово-шхерных побережий, в частности заливов и губ окрестностей Беломорской биологической станции МГУ, представляет собой сочетание структурно-тектонических и ледниковых форм, частично преобразованных процессами подводного морфолитогеоза. В результате продолжающегося поднятия все новые участки морского дна появляются над уровнем моря, перестраиваясь в береговой зоне (БЗ) под действием волновых, приливно-отливных, ледовых и биогенных процессов. На поднятых террасах побережья возникают закономерные последовательности отчлененных морских акваторий, меромиктических водоемов, сохраняющих горизонты реликтовых морских вод, что свидетельствует о недавней изоляции, пресноводных озер, болот. В условиях преимущественно денудационного облика террас такие пониженные и заполненные морскими и озерно-болотными отложениями ванны служат основным источником палеогеографической и палеодинамической информации. Гидрологическим и биотическим изменениям, происходящим в меромиктических водоемах района на разных стадиях изоляции, в последние годы посвящены масштабные исследования (Краснова и др., 2013, Фролова и др., 2015). Геоморфологические условия образования таких водоемов пока не описаны. Какие черты подводного рельефа, процессы в береговой зоне способствуют появлению отчлененных водоемов? О каких событиях на берегах голоценовых морей свидетельствуют такие бассейны на поднятых террасах? Механизмы возникновения отчлененных водоемов как частный случай трансформации рельефа дна в береговой зоне исследованы на примере озера Кисло-Сладкое, расположенного на южном берегу пролива Великая Салма на траверсе Еремеевского порога.

Цель исследования: по данным крупномасштабного геоморфологического картографирования берегов и дна пролива Великая Салма выявить характер трансформации донного рельефа в береговой зоне, определить тенденции развития рельефа побережья.

Работы выполнены в ходе учебных практик студентов второго курса кафедр картографии и геоинформатики (июнь 2015 г.), геоморфологии и палеогеографии (июнь 2016 г.) географического факультета МГУ.

В качестве основы геоморфологического картографирования составлена единая цифровая модель рельефа побережья и дна пролива Великая Салма в районе оз. Кисло-Сладкого (рис. 1), объединившая разнородные топографические и батиметрические данные.

Топографический план масштаба 1:500 с сечением горизонталей 0,25 м составлен по данным тахеометрической съемки окрестностей оз. Кисло-Сладкого, выполненной в июне 2015 г. студентами-картографами (Создание..., 2015). Съемка на площади 63206,3 м<sup>2</sup> велась с помощью тахеометров Trimble 5605DR200+ и Trimble 3305DR с 8 реперных точек, планово-высотное положение которых определено при помощи ГНСС-измерений, теодолитного и нивелирного ходов. Для 5025 пикетов установлено плановое положение в системе координат СК-42 и высота в Балтийской системе нормальных высот. Средняя плотность расстановки

пикетов 0,08 точек/м<sup>2</sup> (около 8 пикетов на площадку 10 × 10 м). Первичная обработка данных проведена с помощью ПО Trimble Business Center, Trimble Geomatic Office, Microsoft Excel. В ходе съемки для каждого из пикетов определена их геоморфологическая позиция, что послужило основой создания карты геоморфологических уровней окрестностей озера.

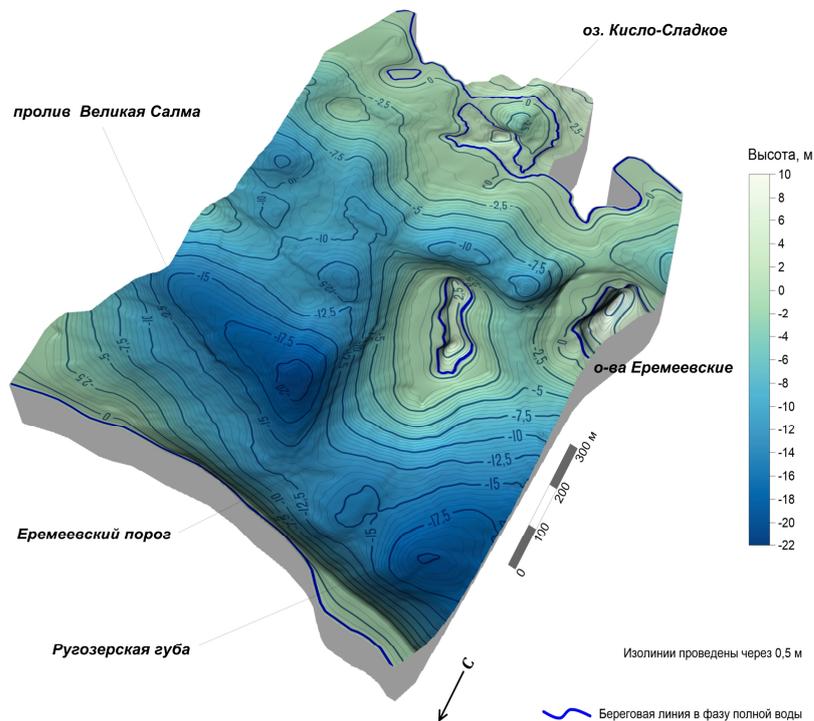


Рис. 1. Блок-диаграмма рельефа побережья и дна пролива Великая Салма

В июне 2016 г. на основе топографического плана силами студентов-геоморфологов проведена детальная геоморфологическая съемка участка. Работы включали геоморфологическое профилирование, сопровождавшееся изучением состава наносов береговой зоны и отложений террас с отбором образцов на гранулометрический анализ. Подробно фиксировались морфологические и биоиндикационные признаки динамики берегов. Привязка к топографической основе осуществлялась с помощью портативных GPS и измерений мерной лентой от реперов. Результатом работ стали серия геоморфологических профилей и геоморфологическая карта окрестностей оз. Кисло-Сладкого масштаба 1:500 (Отчет..., 2016), уточнившая и дополнившая карту геоморфологических уровней 2015 г. Наличие детальной топографической основы позволило определить высотное положение низких террас, элементов рельефа береговой зоны, верхней и нижней границ воздействия волнения и приливов.

Параллельно проведена батиметрическая съемка акватории пролива Великая Салма и оз. Кисло-Сладкого. Съемка выполнена однолучевым эхолотом Lowrance LMS-480 (частота излучателя 200 кГц, охват 60°, разрешающая способность 0.1 м), установленным на моторной лодке. Отметки глубин в футах и координаты точек промеров в проекции Меркатора фиксировались в среднем через 200 мс. Промерные галсы заложены на акватории пролива через 50 м, а в озере – через 20 м (всего 22891 и 2042 точки промеров соответственно). Первичная обработка батиметрических данных включала пересчет отметок глубин в метры, а координат – в проекцию UTM (зона 36), внесение поправок на заглубление датчика и приливные колебания уровня моря. Благодаря тому, что тахеометрическая и батиметрическая съемка охватывали приливную осушку, удалось связать отметки глубин с Балтийской системой высот

(точность не хуже 0,5 м). Прибрежные отметки глубин заверены дешифрированием космического снимка WorldView-1 (пространственное разрешение 0.5-0.59 м, съемка 09.08.2010 в фазу малой воды). На снимке по характерным элементам рельефа (бровка валунного пояса, контакт пляжей и маршей с луговой террасой) определено среднее положение береговой линии в малую и полную воду. Батиметрические данные визуализированы с помощью ПО ArcGIS (ArcMap). В ходе батиметрической съемки портативными GPS фиксировалось положение характерных элементов рельефа (бровки и подножия склонов, подводные гребни, днища желобов, ложбины и т.д.). Результаты наблюдений, наряду с данными донного опробования и характеристикой поверхности морского дна, полученной благодаря функции эхолота Grayline®, позволили провести геоморфологическую интерпретацию батиметрической информации, составить геоморфологические профили и карту рельефа дна масштаба 1:5500.

Совмещенная цифровая модель рельефа побережья и дна пролива (рис. 1) получена путём интерполяции точек промеров глубин, горизонталей с топографического плана масштаба 1:500 и топографической карты масштаба 1:25 000, а также контуров береговой линии, соответствующей фазе полной воды (сизигий). Обработка участков модели, соответствующих рельефу суши, подводному рельефу пролива Великая Салма и подводному рельефу озера Кисло-Сладкого производилась отдельно. Фрагмент модели, соответствующий рельефу суши, был получен на основе горизонталей с топографических карт и контуров береговой линии путём их интерполяции в среде ArcGIS (алгоритм *Topo to Raster*). Фрагменты модели, соответствующие подводным участкам (пролив Великая Салма, озеро Кисло-Сладкое), построены на основе промеров глубин, дополненных сведениями о положении береговой линии. Промеры глубин были распределены в пространстве неравномерно, поэтому для интерполяции использовался не полный их набор, а случайная выборка в объёме 35% от общего количества измерений. Интерполяция этих данных проводилась по методу универсального кригинга. Полученные фрагменты соединены и обработаны осредняющим фильтром (скользящее окно 5×5). Визуализация построенной модели выполнена в пакете Surfer версии 13.03.

Создание единой цифровой модели побережья и дна акватории позволило установить закономерности трансформации донного рельефа в береговой зоне.

Северную часть акватории занимают экзарационно-тектонические желоба губы Ругозерская (до -21 м) и пролива Великая Салма (до -22 м), разделенные на траверсе о. Мал. Еремеевский горстообразной ступенью Еремеевского порога средней глубиной 13.5-14 м. Северные борта желобов крутые (до 32°), сложены скальными породами, приурочены к разлому, ограничивающему о. Великий с юга (Государственная..., 1959), как и днища желобов, прямолинейны. К ЮВ от о. Мал. Еремеевский средняя глубина пролива уменьшается до 7-10 м, максимальная – до 15 м. Структурный облик рельефа осложнен налегающими на скальное основание моренными холмами и грядами высотой 2-6 м. С ЮЗ пролив ограничен Еремеевскими островами с относительно крутыми (5-15°) подводными склонами, а с юга - неровным подводным склоном п-ова Киндо (преобладающие уклоны 5-8°), осложненным ступенями, холмами и западинами. В результате эрозии приливных течений, чехол морских отложений фрагментарен, часты каменные отмостки – продукт селективного размыва морены. Донные осадки удалось отобрать лишь между о. Мал. Еремеевский и выступом берега у оз. Кисло-Сладкого, перед небольшим порогом, разделяющим торрентогенную ложбину на две ванны. Отложения течений представлены крупно-среднезернистыми песками с галькой и гравием.

Нижняя граница современной БЗ, в зависимости от конфигурации берега, контролирующей угол подхода и интенсивность волнения, изменяется от -1.5 до -5 м. При средних высотах волн 0.2 м и максимальных до 1 м (ЕСИМО, Кандалакша, 1977-2006 гг.) регулярное вол-

новое воздействие испытывает лишь верхняя часть подводного берегового склона (ПБС) с глубинами до 2-3 м. Берег в районе оз. Кисло-Сладкого открыт ветрам С-СВ-В румбов, повторяемостью в месяцы безледного периода 17-55% (ЕСИМО, Ковда, 1977-2006 гг.). Однако, судя по относительно тонкому (тонко-мелкозернистые пески) составу наносов, отобранных с глубины 2.5 м, интенсивность волнения не велика. ПБС имеет сложную конфигурацию, неровный, крутизной 2-7°, сохраняет останцы форм, реликтовых для зоны волновой переработки. К СВ от оз. Кисло-Сладкого на глубинах 3.5-1.5 м обнаружен вытянутый вдоль берега холм относительной высотой 1.5-2 м, отделяющий от открытой акватории западину глубиной около 0.5 м. Формы ледниковой аккумуляции эродированы течениями и, в меньшей степени, волнением, частично (?) закрыты отмостками. Заметно более интенсивная перестройка рельефа – в основном размыв морены и морских голоценовых глин, сортировка и транзит наносов, происходит в верхней части береговой зоны под действием волнения, припая, приливных течений (Романенко и др., 2012, Репкина и др., 2013, 2015). На обстановки размыва указывает резкое выполаживание поверхности приливной осушки (0.5-2°), малая (до 0.2-0.5 м) мощность наносов. Аккумулятивные формы – корга (относительная высота до 1 м), сложенная гравийно-галечно-валунными отложениями, и примыкающее к ней со стороны берега песчано-галечно-гравийное томболо, обязаны своим происхождением разгрузке наносов волно-приливного поля и ледового разноса перед препятствиями – скоплениями валунов и глыб перемытой морены, мысами. С волновой аккумуляцией связано накопление маломощных преимущественно мелкозернистых песков в нижней части осушки, бережнее валунного пояса (отливной пляж), и хорошо отмытых песков от грубо- до среднезернистых на уровне среднеквадратного прилива (приливной пляж). Закономерное изменение размеров и крупности отложений приливного пляжа фиксирует направление локальных потоков наносов от СВ выступа береговой линии, образованного палеокоргой с высотами 2-3 м, к западу и югу. В безымянном заливе к В от оз. Кисло-Сладкого, куда волнение практически не проникает, приливная осушка представляет собой валунный бенч; на уровне прилива формируются марши. Такая динамика берега на фоне его поднятия со скоростью 2-3 мм/год (Романенко, Шилова, 2012) привела к образованию современной «луговой» террасы (высота 0.8-2 м), постепенно нарастающей с востока на запад, и замыканию северного палеопротола оз. Кисло-Сладкого. Восточный пролив, развивающийся в условиях волновой тени и отчленяющийся от моря только за счет поднятия берега, пока еще затапливается в сизигийные приливы.

Таким образом, выявлена закономерная последовательность трансформации форм подводного ледникового рельефа в береговой зоне. В ходе поднятия берега в зону волнового воздействия попадают эродированные течениями и перекрытые каменными отмостками останцы форм ледниковой аккумуляции, образующие сочетания холмов, гряд и западин. Устойчивые к размыву положительные формы образуют в БЗ мысы и препятствия, которые становятся ядрами комплексной аккумуляции наносов, формируют локальные ячейки потоков наносов, способствующих отчленению западин и котловин от моря. При существующих темпах поднятия, амплитудах приливов и волновом режиме, среднее время «прохождения» через БЗ можно оценить в 2-3 тыс. лет, период интенсивной перестройки рельефа под комплексным воздействием волнения, приливов и припая – 1-2 тыс. лет, постепенной потери связи с морем, при отсутствии экстремальных штормов и нагонов, – 150-250 лет.

Авторы признательны коллективу ББС МГУ, а также студентам географического факультета МГУ, участвовавшим в полевых работах и первичной обработке данных.

Работы выполнены на ББС МГУ при поддержке ГЗ по темам № 1.2 (АААА-А16-116032810089-5), № 1.20 (АААА-А16-116032810094-9).