

УДК [551.46+574.5](063)

ББК 26.221я431+26.38я431+28.082.40я431

Т78

Труды V Международной научно-практической конференции “Морские исследования и образование (MARESEDU-2016)” : [сборник]. - М. : Феория, 2016. - 549 с. : ил., карты, схемы. - ISBN 978-5-91796-060-9

Сборник «Труды V Международной научно-практической конференции “Морские исследования и образование (MARESEDU-2016)”» представляет собой книгу тезисов докладов участников конференции. Сборник состоит из глав, соответствующих секциям технической программы конференции: общая (пленарная), океанология, геофизические исследования на акваториях, морская геология, морская биология, рациональное природопользование, гидрология, англоязычная секция Offshore Training-through-Research. Все тезисы представлены в редакции авторов.

В рамках конференции участники обсудили состояние и перспективы развития комплексных исследований Мирового океана, актуальные проблемы природопользования и сохранения биоразнообразия в водных пространствах, освоение ресурсов континентального шельфа, достижения науки и современные методы исследований акваторий, концепции и подходы в обучении морским наукам, традиционно широко были представлены самые свежие результаты научно-исследовательских морских экспедиций.

Отличительная черта конференции и сборника - комплексность обсуждаемых исследований и значительное количество докладов, авторами которых были студенты различных вузов страны, принявшие активное участие в работе форума.

**Подготовлено к выпуску издательством ООО «Феория» по заказу ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова».**

ООО «Феория».  
127018, Москва, Савёловский проезд, д. 8 строение 2  
dikmaps@yandex.ru

ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова».  
Свидетельство о внесении записи в ЕГРЮЛ 77 № 017538482  
от 19 июня 2014г.  
119234. Москва, Ленинские горы, Научный парк МГУ, владение 1, стр. 77  
(495) 930-85-52/ 930-80-58

**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 морфолитогенеза. 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, плано-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.

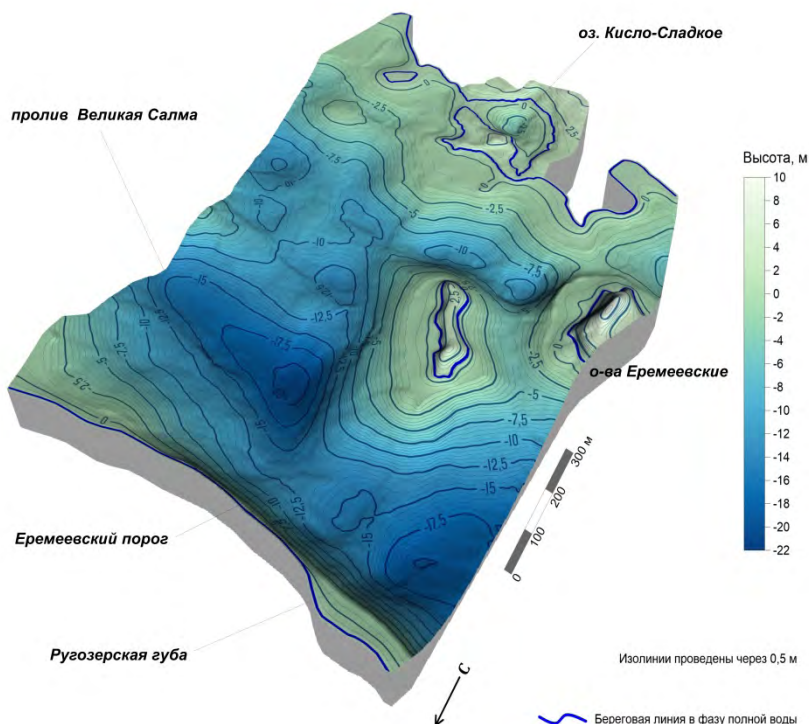


Рис. 1. Блок-диаграмма рельефа побережья и дна пролива Великая Салма.

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 заглупление 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 волновое 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, бережное 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 палеопролива 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).

## **Мониторинг процессов морфолитогенеза приливных осушек Кандалакшского залива Белого моря с использованием БПЛА.**

**Аляутдинов Али Раисович, Репкина Татьяна Юрьевна, Шафоростов Виктор Михайлович, Энтин Андрей Львович, Луговой Николай Николаевич**

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

Стационарные наблюдения за процессами морфолитогенеза береговой зоны (БЗ) проводятся на ББС МГУ с 2009 г. (Репкина, Шевченко, Косевич, 2013). За семь лет дана количественная оценка вклада волновых и неволновых факторов в морфолитогенез надводной части БЗ, получены данные о сезонной и межгодовой изменчивости этих процессов. Оценены величины перемещения наносов в волно-приливном поле и ледового переноса крупных (от мелких валунов до глыб) обломков. Полученные данные позволяют охарактеризовать процессы морфолитогенеза внутренних берегов заливов и проливов фиардово-шхерных побережий. Однако для решения ряда задач, — в частности, определить объемы перемещения наносов галечной размерности, темпы вовлечения продуктов физического выветривания береговых уступов в потоки наносов, объемы биогенного переноса, — необходима фиксация состояний поверхности на уровне микрорельефа.

Цель исследования: разработать методику изучения динамики микрорельефа приливных осушек с использованием беспилотных летательных аппаратов, выявить межгодовую динамику микрорельефа верхней части береговой зоны, уточнить объемы перемещения наносов по поперечному профилю берега.

В июне 2015 и 2016 гг. в ходе практики студентов 2 курса кафедры картографии и геоинформатики ежегодная тахеометрическая съемка участков береговой зоны дополнена фотографированием ее поверхности и привязкой изображений. На каждой из трех площадок стационарных наблюдений фотофиксация выполнена в пределах поперечных берегу полос шириной 1 м (далее — полоса), закрепленных на местности с помощью неподвижных реперов — заглубленных металлических штырей. В 2015 г. фотографирование выполнялось непосредственно на литорали с помощью штатива, а в 2016 г. — с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) DJI Phantom II.

В 2015 г. фотографирование производилось с помощью цифрового фотоаппарата Canon IXUS 157 с разрешением матрицы 20 Мпикс и фокусным расстоянием 4 мм. Фотосъемка проводилась с высоты человеческого роста (порядка 1,5 м). Всего на каждую полосу отснято более 50 изображений с перекрытием от 60 % до 80 %. Фотосъемка сопровождалась тахеометрической съемкой полос; в качестве съёмочных пикетов использованы реперы, ограничивающие полосы. Кроме того, непосредственно во время съемки по обеим сторонам полос размещались геодезические рейки, что позволило создать дополнительные опорные точки в процессе дальнейшей обработки.

Обработка снимков 2015 г. проводилась в программном пакете ArcGIS (ArcMap). Для создания ортофотоплана выполнены привязка и трансформация снимков; трансформированные изображения соединены в единую мозаику. Ввиду заметных геометрических искажений привязка и трансформация выполнены по методу «резинового листа» (*rubber sheet*), в качестве контрольных точек использованы пикеты тахеометрической съемки и видимые на снимках отметки на геодезических рейках, плановое положение которых устанавливалось расчётным путём из известного положения полосы профиля.

Дополнительно для взаимной увязки соседних изображений использованы точки, хорошо опознаваемые на камнях. Итоговый фотоплан представляет собой мозаику трансформированных снимков (рис. 1).

В 2016 г. для фотографирования использован БПЛА DJI Phantom 2, оснащённый цифровой фотокамерой с разрешением матрицы 14 Мпикс, фокусным расстоянием 5 мм и углом обзора 90°. Снимки, получаемые с помощью камеры, характеризуются сильным эффектом «рыбьего глаза», что усложняет фотограмметрическую обработку изображений. БПЛА оснащён ГНСС-приёмником, позволяющим определять координаты места съёмки с точностью до целых секунд. Управление летательным аппаратом и установленной на нём камерой осуществляется дистанционно с помощью пульта дистанционного управления и планшетного компьютера под управлением ОС Android с приложением DJI Vision. Пульт позволяет управлять летательным аппаратом, приложение — фотокамерой. Управление частотой съёмки кадров производится вручную с помощью приложения. Трансляция изображения с камеры на экран планшета позволяет в режиме реального времени контролировать перекрытие фотоснимков.

Фотографическая съёмка полос на литорали осуществлена с высоты 10 м в режиме ручного управления БПЛА и фотокамерой. Сделано 48 изображений полосы № 1, 69 изображений полосы № 2 и 49 изображений полосы № 3. Продольное перекрытие снимков контролировалось в процессе съёмки и составляло около 60 %. Как и в 2015 г., фотосъёмка сопровождалась тахеометрической съёмкой, выполненной по той же методике.

Обработка массива фотоснимков с БПЛА производилась с помощью ПО Agisoft PhotoScan, предназначенного для работы с большими массивами данных с беспилотных летательных аппаратов. PhotoScan позволяет автоматически рассчитывать элементы внешнего и внутреннего ориентирования фотоснимков, выполнять их привязку. При этом одновременно используются снимки, их метаданные (информация о камере и геолокация) и «внешние» (по отношению к массиву фотографий) опорные точки. Необходимо, чтобы обрабатываемый массив изображений содержал хотя бы два снимка с отличающимися координатами. В процессе обработки строится трёхмерная модель местности, на основе которой формируется мозаика изображений. Разрешение мозаики лимитируется разрешением исходных снимков. Предельное «техническое» разрешение полученной мозаики составило около 3 мм. Такая детальность избыточна для задач исследования и приводит к сильному возрастанию размера изображения. Поэтому на конечном этапе обработки разрешение фотоплана закруглено до 10 мм.

Сопоставление фотопланов 2015 и 2016 гг. (рис. 1) выполнено визуально с помощью ПО ArcGIS. Первичный анализ снимков позволил оценить изменчивость микрорельефа площадок наблюдения, зафиксировать изменение состава наносов по поперечному профилю берега и индивидуальные смещения обломков галечной и валунной размерности, динамику форм биогенного рельефа. В дальнейшем предполагается усовершенствовать методику для полуавтоматического анализа динамики микрорельефа и наносов береговой зоны, рассчитать объёмы транзита наносов по поперечному профилю берега.

Представленная методика позволяет создавать фотопланы на небольшие по площади участки местности с целью изучения микрорельефа и его динамики. Показано, что снимки, полученные «с земли» и с небольшой высоты сопоставимы по информативности и могут совместно использоваться для выявления изменений на местности. Фотографирование с высоты порядка первых метров (в нашем случае — 10 м) даже при помощи камеры, не



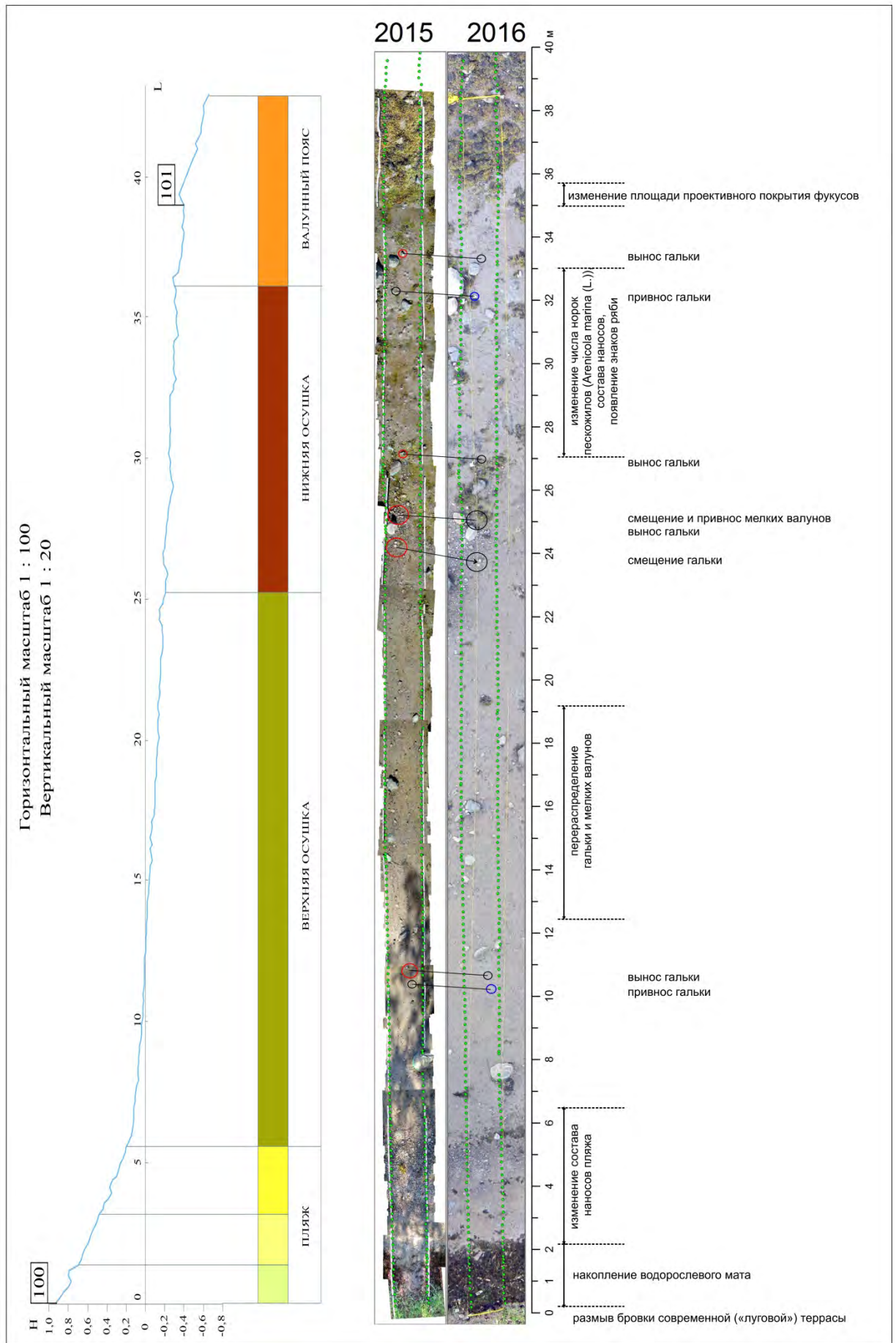


Рис. 1. Тахеометрический профиль (2015 г.) и фотополосы съемки на площадке стационарных наблюдений 1 (мыс Крестовый).

предназначенной специально для проведения аэрофотосъемки, позволяет получать детальные изображения земной поверхности, подходящие для исследования микрорельефа в береговой зоне. Работы могут быть воспроизведены силами небольшой группы специалистов. Техника, ключевая для проведения работ, не относится к специальным геодезическим приборам и является относительно широкодоступной. «Вспомогательные» работы (определение положений опорных точек для привязки фотоснимков) в данном случае выполнялись дважды, но это не является обязательным: при достаточном количестве хорошо заложенных опорных точек нет необходимости ежегодно определять их положение, что позволяет создавать новые фотопланы без дополнительных геодезических работ. Использование БПЛА позволяет существенно увеличить детальность исследований рельефа береговой зоны, получить принципиально новые сведения о морфо- и литодинамических процессах. В частности, могут быть получены новые качественные и количественные данные о динамике микрорельефа в приливном цикле (съемка в фазы малой и полной воды), темпах вовлечения продуктов физического выветривания в потоки наносов (ежегодная съемка, съемка после сильных штормов). Методика таких исследований разрабатывается в ходе учебных практик студентов кафедр картографии и геоинформатики и геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ.

Авторы признательны коллективу ББС МГУ, а также студентам кафедры картографии и геоинформатики, 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).

#### **Список литературы**

1. Репкина Т.Ю., Шевченко Н.В., Косевич Н.И. Живые камни // Природа. 2013. № 2. С. 113-116.