

МОРФОДИНАМИКА БЕРЕГА КАК КРИТЕРИЙ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА РАЗВИТИЯ ПОБЕРЕЖИЙ (НА ПРИМЕРЕ ЛЕТНЕГО БЕРЕГА БЕЛОГО МОРЯ)

Сафьянов Г.А., Репкина Т.Ю., Селезнева Е.В., Кунгаа М.Ч.

*МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет,
safyanov.gen@yandex.ru, t-repkina@yandex.ru, seevgenia@gmail.com, mkungaa@gmail.com*

Безопасность освоения морских побережий и прогноз их развития определяются реакцией берегов на изменение природных (геолого-геоморфологических и гидрометеорологических) условий разных пространственно-временных масштабов и антропогенную нагрузку. Критериями оценки реакции берегов на меняющиеся условия являются: 1) изменение конфигурации береговой линии, 2) смещение вдоль береговой линии положения участков размыва и аккумуляции наносов, 3) изменение состава наносов. Первые два параметра могут быть оценены количественно на базе геоморфологической интерпретации данных дистанционного зондирования.

Рассматривается участок Летнего берега Белого моря, включающий открытое побережье Двинского залива и акваторию эстуария Унской губы. Район обеспечен достаточным для анализа многолетней изменчивости набором гидрометеорологических, картографических и дистанционных материалов. ГМС «Унский маяк» (1929 г. – настоящее время) расположена на СЗ входном мысу эстуария. Уровнемерные наблюдения (1911-2001 гг.) выполнялись на его СВ берегу в п. Пертоминск. Рельеф и отложения береговой зоны изучены в ходе мониторинговых наблюдений за динамикой пляжей и приливных осушек (2009-2011 гг.) и полевых исследований, выполненных в рамках НИР «Оценка рисков природных катастроф в береговой зоне» (июль-август 2012 г.).

Динамика открытого побережья Двинского залива определяется относительно высокой гидродинамической активностью и сложным расчленением рельефа мелководья, контролирующим угол подхода волн. Пролив (горло) Унской губы развивается под действием суперпозиции приливного течения и волнения, а также высоких нагонов, возникающих при ветрах северных и южных румбов. При этом важнейшую роль в динамике пролива играет сила Кориолиса, отклоняющая приливные и отливные течения вправо от оси движения [6]. Внутренние берега губы развиваются в относительно затишных условиях, в их динамике существенна роль нагонов и положение каналов стока.

Долгосрочная (тысячи – сотни лет) динамика берегов участка, как и в целом, Онежского п-ова, сводилась к постепенному выдвиганию береговой линии за счет постгляциального поднятия и ее выравниванию. Скорость голоценового поднятия в районе Унской губы составляла около 2 мм/год [6]. Близкие величины – 1.0-4.07 мм/год имеют скорости современного (1930-1990-ые годы) поднятия, рассчитанные по данным об изменении уровня моря в п. Пертоминск [2, 4, 5]. На склонах моренных холмов и гряд формировались берега абразионного типа. Заливы между ними, в том числе Унская губа, заполнялись наносами. Направление потоков наносов определялось соотношением характеристик волнения, приливных течений, конфигурации берегов и прибрежного мелководья. Берег Двинского залива к западу и востоку от горла Унской губы формировался в ходе последовательного причленения береговых валов, группирующихся в семь крупных генераций, отвечающих основным этапам развития берега. На внутренних

берегах губы, как и в настоящее время, развивались преимущественно низкие осушенные берега с малой мощностью наносов. В горле губы, под действием суперпозиции приливного (вдоль западного берега) и отливного (вдоль восточного берега) течений и волн открытого моря, трансформировавшихся в проливе, возникли песчаные косы, перемежающиеся с участками размыва моренных холмов и песчаных голоценовых террас. Преобладающие направления потоков наносов на протяжении этого времени были, в целом, стабильны, несмотря на неоднократные изменения климатических характеристик [6]. Это может указывать на важную роль структурно-литогенного контроля динамики берегов и устойчивость морфолитодинамической системы в долгосрочном масштабе времени. На восточном берегу горла губы строение береговых валов свидетельствует об однократном экстремальном размыве древних генераций и последующем изменении направления приращения аккумулятивных форм. Исходя из оценок скорости поднятия, размыв произошел около 1-1.5 тыс. лет назад.

Среднесрочная (1965-2010 гг.) динамика берегов оценена путем сопоставления положения береговой линии на топографической карте масштаба 1:100000 (1964-65 гг.) и космических снимках (КС) Landsat, размещенных в Google Планета Земля 6 (ситуация на 2010 г.), а также КС Landsat съемки 1987, 2001 и 2008 гг. При дешифрировании учитывалось фаза приливо-отливных колебаний (программа WXTide32) и доступная гидрометеорологическая информация [1, 2, 3]. Результаты дешифрирования заверены полевыми наблюдениями. Установлено, что в последние 45 лет сохранялись тенденции развития берегов, характерные для голоцена. Береговая линия открытого берега Двинской губы в 1965-2010 гг. развивалась, в целом, однонаправленно и обнаруживала тенденцию к выравниванию. На западной границе участка преобладали отступающие (до 50 м за 45 лет) и относительно стабильные берега. Вогнутый перегиб берега от оз. Мураканское до устья эстуария заполнялся наносами. Береговая линия выдвинулась за 45 лет на 50-100 м. Восточнее Унской губы отступление и выдвижение береговой линии, блокированной от действия СЗ волнения мысами, как правило, не превышало 50 м. Величина смещения берега (до 1-2 м/год) не позволяет выявить этапы активизации нарастания/отступления. Берега горла Унской губы развивались неравномерно во времени и более динамично (скорости смещения до 5 м/год). Характерно перемещение наносов аккумулятивными формами - постепенное нарастание и смещение к югу дисталей песчаных кос, а затем – относительно быстрое их разрушение и транспортировка высвободившихся песков в акваторию губы. В 1965-1987 гг. размыв берегов пролива был, в целом, интенсивнее, чем в последующем. Активизация размыва связана с большей ветро-волновой активностью этих десятилетий и отдельными сильными штормами (1965, 1973, 1975 и 1985 гг.) [3].

Реакция берегов участка на штормовой нагон 15-16 ноября 2011 г., сопоставимый с возможным 1 раз в 50-100 лет, оценена на основе дешифрирования КС Spot5 (разрешение 3.1 м) съемки 22.07.2010 г. и 28.05.2012 г. и полевых наблюдений. Использование КС съемки 2010 г. обосновано сопоставимыми с разрешением снимка среднемноголетними темпами смещения берегов участка. КС съемки 2012 г. характеризует обстановку на берегах, недавно освободившихся от ледового покрова и еще не восстановившихся после экстремального шторма, предшествовавшего ледоставу. В ходе полевых работ для оценки динамики берега использованы геоморфологические и ландшафтные признаки и результаты опроса местных жителей. В п. Пертоминск выполнены повторные (2009-2012 гг.) инструментальные измерения положения бровки берегового уступа.

Шторм, продолжавшийся около суток, был связан с прохождением глубокого циклона. В Двинской губе скорости ветров (от С до ЗСЗ румбов при преобладании СЗ) достигали на ГМС Архангельск и Северодвинск 14-15 м/с (порывы до 20-23 м/с) [1], на ГМС Унский Маяк – до 18 м/с [3]. Максимальная высота ветровых волн (ГМС Унский Маяк) составила 1.3 м, что существенно меньше наибольших зафиксированных на станции величин (4.0 м в октябре 1988 г.). Однако, в результате наложения индуцированной в Баренцевом море длинной нагонной волны и ветрового нагона, уровень на всей акватории Белого моря поднялся на 1.5-2 м выше среднего в прилив. Высокий уровень воды сохранялся в течение суток после окончания шторма.

Сочетание экстремально высокого уровня моря и заметного волнения привело к активизации литодинамических процессов и перестройке рельефа береговой зоны. На берегах *абразионного типа* усилился размыв. Ведущие механизмы и величину разрушения берегов определили литология береговых уступов и их ориентировка относительно преобладавшего направления волнения. Наибольшие величины отступания (1-3 м, редко – до 5-7 м) наблюдались на *абразионных берегах, выработанных в песчаных отложениях*. Мощность отложений пляжа и осушки уменьшилась на 10-40 см. На *абразионно-оползневых берегах* активизировались оползневые процессы. Однако бровка берегового уступа (по измерениям относительно местных реперов), сместилась не более чем на 1 м. Подножие уступа оставалось практически стабильным. Наиболее масштабные изменения испытали *аккумулятивные пляжевые* песчаные берега. Характер морфолитодинамических процессов на берегах этих типов соответствовал, в целом, среднесредневековым тенденциям, однако темпы переформирования берегов возросли в несколько раз. На открытых берегах Двинского залива бровки террас отступили на величину до 5-7 м; авантюны, окаймляющие современные террасы, нарушены или полностью смыты. Пляжи уплощены, частично смыты (отступление до 10-14 м), а песок с пляжа вынесен на осушку. Песчаные аккумулятивные формы на осушке и мелководье, в 2009-2011 гг. находившиеся в стабильном состоянии, частично перестроены. Величина остаточных деформаций на осушке – до 0.5-0.7 м. Однако в зонах разгрузки потоков наносов отмечен рост аккумулятивных форм – выдвигание пляжей и формирование на осушке и мелководье новых береговых валов. В проливе горла Унской губы, особенно на его западном берегу, существенно ускорилось перемещение аккумулятивных форм внутрь эстуария. Величина размыва современных и позднеголоценовых кос достигла на западном берегу 20-30 м. На участках аккумуляции наносов берег выдвинулся на 5-35 м, на мелководье сформировались крупные подводные и осушные косы. Низменные *осушные берега* были затоплены, что, однако, не привело к существенным морфологическим последствиям. Полевые исследования (июль-август 2013 г.), показали, что за два года, прошедших после нагона, морфологические и литологические следы экстремального события по-прежнему отчетливы. Полная релаксация береговой зоны не произошла.

Выводы. 1) Основные тенденции развития берегов участка сохраняются со среднего голоцена и проявляются как в долгосрочном (сотни и тысячи лет), так и среднесрочном (десятилетия) масштабах времени. Это связано с продолжающимся постгляциальным поднятием, в значительной мере нивелирующим реакцию берегов на климатические изменения, и значимой ролью структурно-литогенной основы в динамике берегов. 2) Характер реакции берегов участка на экстремальные события различен на

берегах разных генетических типов и соответствует, в целом, среднемноголетним тенденциям развития берега. При этом темпы переформирования берегов возрастают в 2-10 раз по сравнению со среднемноголетними. 3) Выявленные закономерности позволяют считать морфодинамические характеристики поднимающихся берегов надежной основой долгосрочных и среднесрочных прогнозов развития побережья. 4) Наиболее уязвимы к воздействиям экстремальных штормов и нагонов песчаные аккумулятивные пляжевые и лагунные берега. Берега этих типов наиболее заселены и используются в рекреационных целях. Величина ущерба, причиненного штормом, существенно возросла в результате застройки берегов, потенциально подверженных воздействию экстремальных явлений.

Работы поддерживались проектами РФФИ 13-05-126а, 13-05-324а.

Литература

1. Архив данных по ГМС России за 2005-2010 гг. (<http://www.rp5.ru/>)
2. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. II. Белое море. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 240 с.
3. ЕСИМО. Атлас "Климат морей России и ключевых районов Мирового океана. Белое море". (<http://www.esimo.ru/atlas/Beloe>).
4. Инжебейкин Ю.И. Однонаправленные движения в колебаниях уровня Белого моря // Колебания уровня моря. СПб.: РГГУ, 2003. С. 31-39.
5. Никонов А.А. Голоценовые и современные движения земной коры: геолого-геоморфологические и сейсмотектонические вопросы. М.: Наука, 1977. 240 с.
6. Сафьянов Г.А., Репкина Т.Ю. Динамика берегов Унской Губы (Летний берег Белого моря) // Геоморфология. 2013. № 1. С. 82-89.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ГЕОСИСТЕМ И ПРОГНОЗНЫЕ АСПЕКТЫ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ И ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ НА ЮГЕ РОССИЙСКОГО ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Скрыльник Г.П.

*Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток,
skrylnik@tig.dvo.ru*

На территории Дальнего Востока наиболее широко распространены опасные природные явления (ОПЯ), связанные с колебаниями климата (Скрыльник, 1994; Короткий, Коробов, Скрыльник, 2011; Скрыльник, 2014). Это наводнения, сели, ураганы, снежные лавины, шторма и штормовые нагоны, ураганы и смерчи. Они вызывают эрозионно-аккумулятивные процессы в речных долинах, размыв морских побережий и подводного берегового склона, обвалы, оползни, дефляцию и т.п.

ОПЯ еще до недавнего прошлого (в целом, до середины голоцена) в регионе протекали очень активно, о чем свидетельствует широкое проявление разнообразных экстремальных и катастрофических процессов на отдельных возрастных рубежах (лесные пожары – около 5,5 тыс., 2,8 тыс., 1,87 тыс., 0,5 тыс.л.н. – в бассейнах рек Самарги, Единки, Партизанской, Киевки и др.), штормовые нагоны (около 4,7 тыс., 2,4 тыс., 1,3

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА
ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ГЕОМОРФОЛОГИИ И ПАЛЕОГЕОГРАФИИ**

**ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«VII ЩУКИНСКИЕ ЧТЕНИЯ»**

**ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ
И ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ:
ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ**



МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ



МОСКВА – 2015