

© 2018 г. В.И. МЫСЛИВЕЦ*, А.В. БРЕДИХИН, Г.А. САФЬЯНОВ, Г.И. РЫЧАГОВ,
Е.И. ИГНАТОВ, Л.А. ЖИНДАРЕВ, С.А. ЛУКЬЯНОВА, Г.Д. СОЛОВЬЕВА,
Е.Н. БАДЮКОВА, Т.Ю. РЕПКИНА, Л.М. ШИПИЛОВА, Е.В. СЕЛЕЗНЕВА

ПРОБЛЕМЫ ПРОГНОЗА РАЗВИТИЯ МОРСКИХ БЕРЕГОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ (СТ. 2. МОРФОДИНАМИКА БЕРЕГОВ И ПРИНЦИПЫ ПРОГНОЗА ИХ РАЗВИТИЯ)

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
географический факультет, Москва, Россия
E-mail: myslivets@yandex.ru

Поступила в редакцию после доработки 10.05.2017

Изложены принципы построения легенды морфодинамической карты берегов. Показаны изменения, происходящие с рельефом морских берегов Европейской России за последние 30–50 лет. При отнесении берега к тому или иному морфодинамическому типу учтены: его генезис; литология береговых уступов, включая льдистость пород на берегах с многолетней мерзлотой; сведения о приливно-отливных и стонно-нагонных колебаниях уровня моря; данные о темпах отступления/выдвижения берега, полученные в результате сопоставления одновременных топографических карт и космических снимков. Сформулированы основные принципы прогноза развития берегов: бассейновый подход – учет особенностей определенного морского водоема; региональный подход – учет характеристик рассматриваемого побережья; анализ современного состояния берегов – через проведение их типизации; ретроспективная реконструкция развития берегов; сценарный (предметный) подход – геоморфологический прогноз. Приведен пример такого прогноза для побережья Самбийского полуострова в юго-восточной Балтике.

Ключевые слова: морские берега, Европейская Россия, морфодинамика, морфодинамическая карта берегов, прогноз развития берега.

DOI: 10.7868/S0435428118010054

APPROACHES TO FORECASTING THE DEVELOPMENT OF MARINE SHORES OF THE EUROPEAN RUSSIA (PAPER 2. MORPHODYNAMIC OF MARINE SHORES AND PRINCIPLES OF FORECAST OF THEIR DEVELOPMENT)

V.I. MYSLIVETS*, A.V. BREDIKHIN, G.A. SAFYANOV, G.I. RYCHAGOV, E.I. IGNATOV,
L.A. ZHINDAREV, S.A. LUKIANOVA, G.D. SOLOVIOVA, E.N. BADIUKOVA, T.Yu. REPKINA,
L.M. SHIPILOVA, AND E.V. SELEZNEVA

*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia
E-mail: myslivets@yandex.ru

S u m m a r y

The principles of constructing the legend of the morphodynamic map of the shores are outlined. The changes of the sea coasts of European Russia over the past 30–50 years are shown. In classifying the coasts to a particular morphodynamics type, the following was taken into account: their genesis, lithology of coastal cliffs, ice content (for permafrost coasts), information on tidal and surge oscillations of the sea level, data on rates of bank retreat/advance obtained by comparison of time-series of topographic maps and satellite images. The basic principles of forecasting the development of the coasts were suggested: the basin approach – taking into account the specific features of a whole sea basin; regional approach – taking into account the characteristics of the coastal territory; analysis of the current state of the coasts – through their classification; retrospective reconstruction of coast development; scenario approach – geomorphological forecast. An example of such a forecast is given for the coast of the Sambian Peninsula in the southeastern Baltic.

Keywords: Sea coasts, European Russia, morphodynamic, morphodynamic map of the coasts, forecast of sea coast development.

Содержание карты морфодинамики берегов

Анализ развития проводится на основе современных представлений о динамике береговой зоны [1–4]. На карте морфодинамики берегов должны быть показаны изменения, происходящие с рельефом берега за последние 30–50 лет. Главным их признаком является плановое положение берега. Условные обозначения предусматривают показ берегов отступающих, нарастающих, выдвигающихся, берегов стабильных и с переменным режимом.

Предусмотрен также показ следующих особенностей берега: высота берегового уступа в метрах, клиф в прочных или рыхлых породах, скорости отступления клифа в м/год (показываются цифрами), наличие береговых эоловых форм, а также бенча или валунно-галечной отмости.

Следующий раздел легенды посвящен процессам, осложняющим развитие берега: приливам, ветровым нагонам, склоновым процессам, присутствию прибрежной растительности, влиянию берегозащитных сооружений. Показано также результирующее направление вдольберегового перемещения наносов или преобладание поперечного перемещения наносов.

При отнесении берега к тому или иному морфодинамическому типу учтены: его генезис; литология береговых уступов, включая льдистость пород для берегов с многолетней мерзлотой; сведения о приливно-отливных и сгонно-нагонных колебаниях уровня моря, данные о темпах отступления/выдвижения берега, полученные в результате проведения стационарных наблюдений или сопоставления разновременных топографических карт и космических снимков. На участках, для которых отсутствуют сведения о современной динамике берега, в ходе составления карты выполнен анализ современной морфологии берега по космическим снимкам, содержащимся в программе Google Earth [5] (<http://earth.google.com>), что дало возможность оценить направленность их развития.

Баренцево море. Общая черта всех берегов региона, весьма различных по остальным параметрам, – влияние на их динамику приливных колебаний уровня моря. Оно накладывается на местные морфоструктурные условия [6].

Берега баренцевоморского побережья Кольского п-ова, в основном, отнесены к стабильным. Это первично-тектонические и абразионно-денудационные берега, скорость отступления которых под действием склоновых процессов и абразии не превышает первых сантиметров в год. Например, темпы отступления берегов Кольского залива оцениваются в 0.02 м/год. Абразионные и абразионные отмершие берега п-овов Рыбачий, Средний и Кильдин отнесены к отступающим. Аккумулятивные берега, в зависимости от условий питания наносами, стабильны или имеют переменный режим.

На п-ове Канин (от м. Конушинский в акватории Белого моря до Чешской губы) берега преимущественно отступают. На их динамику оказывают влияние высокие приливы, нагоны, склоновые процессы на береговых уступах, на косах – эоловые процессы. Скорость размыва абразионных и термоабразионных берегов Канинского берега Белого моря достигала в голоцене 5.0–6.5 м/год, а в последние 25 лет – 2.5–4 м/год. Абразионные берега, выработанные в скальных породах, отступают со скоростью менее 1 м/год.

Аккумулятивные берега в устьях крупных рек имеют режим, переменный как во времени, так и в пространстве. Отмечено выдвигание дисталей кос, отгораживающих устья эстуарного типа, до 25 м/год, и размыв ряда мысов и низменных песчаных островов до 35 м/год. Устойчивое нарастание со скоростью 2.5–5.0 м/год характерно для осушек и устьевых берегов в тылу эстуариев.

Термоабразионные берега на западе Чешской губы отступают со скоростью 2.5–5.0 м/год, на востоке – до 3.0 м/год, а термоденудационные берега в куте губы – до 2.5 м/год. Скорость отступления абразионных берегов, выработанных в осадочных сцементированных породах, составляет 1.5 м/год. Для аккумулятивных берегов в устьях рек характерен переменный режим.

На динамику берегов Печорского моря оказывают влияние приливы и нагоны [7, 8]. Высота подъема уровня здесь может достигать почти 4 м (пос. Варандей). Преобладают отступающие берега. Нарастание берега отмечается лишь в дистальных частях

аккумулятивных форм. Скорость отступления, в зависимости от ситуации на конкретном участке берега, изменяется на материковом побережье от 1 до 3 м/год. Наибольшие темпы отступления – в среднем до 4 м/год, а в отдельные годы – до 8–10 м/год – зафиксированы на берегах о-ва Варандей, подверженных антропогенному прессингу [9].

Для берегов устьев рек характерен переменный режим, а для наиболее крупных рек – активных рукавов р. Печора, Коротайха и ряда более мелких рек, впадающих в Печорскую и Хайпудырскую губы – нарастание берега.

Берега Югорского п-ова также в основном отступают. Севернее п-ова Бельковский скорость отступления абразионных берегов, выработанных в рыхлых отложениях, достигала 5 м/год, корневая часть косы отступала на 5 м/год, а ее дисталь нарастала от 2 до 8–10 м/год. Абразионные берега, выработанные в коренных прочных скальных породах (терригенно-карбонатные породы палеозоя), также отнесены к отступающим, однако скорость их разрушения по данным сопоставления разновременных материалов на порядок меньше.

Белое море. Современные динамические особенности берегов Белого моря предопределяются структурно-тектоническим планом территории. Берега западного побережья в целом характеризуются проявлением унаследованных дифференцированных неотектонических движений и высокой устойчивостью по отношению к воздействию морского волнения. Благодаря закрытому положению и небольшим размерам моря, а также резкому расчленению берегового контура при наличии множества прибрежных островов, высота волн, достигающих берега, обычно не превышает 2 м.

Скорость современного поднятия берегов, по данным измерений положения уровня моря за длительный интервал времени (от 20 до 40 лет), достигает 5 мм/год. Таким образом, в целом стабильные западные берега Белого моря, не подверженные абразионному разрушению морским волнением, испытывают смещения береговой линии во времени и в пространстве, вызванные причинами эндогенного характера.

Характерным отличием Беломорского побережья является также широкое распространение абразионных берегов с отмершим или отмирающим клифом и примкнувшей террасой. Это также объясняется длительной тенденцией к относительному понижению уровня моря на значительной части региона в результате совпадения амплитуд тектонического и эвстатического факторов [10].

Абразии подвержена четвертая часть беломорских берегов, включая абразионно-денудационные и термоабразионные [11]. Наиболее широкое развитие она получила в Канинско-Мезенском районе, на Летнем и Зимнем берегу. Высокие скорости размыва берегов (до 5 м/год) создают условия отступления береговой линии и выработки перед клифом современной валунной абразионной террасы (бенча). Значительная протяженность таких берегов (около 600 км) обеспечивает существенное преобладание (примерно в 2 раза) поступления в береговую зону моря терригенного материала за счет абразии по сравнению с его выносом реками.

Осушные берега занимают существенную часть протяженности берегов (более 10%). Наиболее широко осушки представлены в Онежском, Мезенском заливах и Воронке Белого моря. Песчано-глинистые и глинистые осушки подвержены размыву, осуществляемому при совместном участии приливных течений и волнения.

В Мезенском заливе, характеризующемся максимальной высотой приливов на Арктическом побережье России, диссипация энергии приливов на единицу площади равна плотности потока энергии в заливе Фанди. Ширина осушек здесь достигает 8 км, а протяженность приближается к 200 км [12].

Аккумулятивные выдвигающиеся берега в Белом море локальны и характерны, прежде всего, для участков дельт крупных и средних водотоков. Морской край дельты Северной Двины, несмотря на относительное погружение территории, испытывает выдвигание.

Балтийское море. Динамика берегов Финского залива освещена в целом ряде работ (например, [13–15]). Здесь наибольшее распространение получили отступающие и стабильные берега. Наличие большого количества отступающих берегов связано с активным

абразионным воздействием волнового фактора на слабо сцементированные ледниковые, в основном моренные, отложения, слагающие береговые уступы и подводный береговой склон. Отступающие берега развиты и на северном, и на южном побережьях Финского залива. В районах распространения абразионно-аккумулятивных берегов наблюдается чередование отступающих абразионных участков и относительно стабильных берегов с сформированными в бухтах пляжами. Отступающей является также значительная часть берега наиболее ценного в рекреационном отношении Курортного района Санкт-Петербурга, где средние скорости отступления берега за последние 20 лет составили 0.5 м/год, а максимальные достигают 2 м/год.

Широко распространены также стабильные берега. Это обусловлено различными условиями и факторами как природного, так и техногенного происхождения. Стабильные берега Выборгского района, от границы до п-ова Киперорт, связаны с литолого-тектоническими характеристиками территории, блокирующими волновое воздействие на прибрежную сушу, сложенную в основном прочными кристаллическими породами.

На участках абразии моренных отложений формируется валунно-галечный бенч, предохраняющий береговой уступ от активного размыва волнами, обеспечивая их стабильность. Бывшие активные клифы отмирают.

Стабильными являются и некоторые аккумулятивные берега, ооконтуренные пляжами, которые так же, как абразионные платформы бенчей, выполняют защитную роль. В Курортном районе Санкт-Петербурга таким стабильным берегом является участок от пос. Солнечное до г. Сестрорецка. Другой участок стабильного развития берегов в настоящее время – побережье Нарвского залива, ооконтуренное широкими пляжами и серией песчаных валов на подводном береговом склоне. К стабильным относятся также берега, укрепленные различными берегозащитными сооружениями. Они занимают значительную часть береговой линии, например, в Невской губе и в пределах портовых комплексов в Приморске и в Усть-Луге.

Нарастающие берега имеют существенно меньшее распространение и приурочены в основном к устьям крупных для этого региона водотоков (например, р. Черная и Луга). К берегам с переменным режимом относится участок южного берега Финского залива в районе пос. Большая Ижора, характеризующийся весьма активной литодинамической обстановкой. Здесь наблюдается чередование зон абразии, транзита и аккумуляции наносов, выразившейся в формировании сложных песчаных кос. В результате вдольберегового перемещения наносов к востоку ощущается тенденция к постоянному смещению этих аккумулятивных кос в том же направлении. При этом изменения береговой линии отмечаются как на аккумулятивных, так и на расположенных между ними абразионных участках.

Морские берега *Калининградской области* по морфодинамическим признакам подразделяются на: 1) берега отступающие; 2) берега с переменным режимом; 3) берега стабильные; 4) берега нарастающие [16].

К первому типу относятся берега, подверженные интенсивной абразии и размыву. Это северные берега Самбийского п-ова (за исключением Светлогорской бухты и собственно м. Таран), а также западные берега п-ова (от м. Таран до пос. Синявино). Максимальная высота абразионного уступа отмечена вблизи мыса Таран, где она достигает 55 м. К востоку и к югу от мыса высота клифа уменьшается до 5–7 м у г. Зеленоградска и до 20–30 м – в районе Бакалинской бухты.

Береговые уступы осложнены многочисленными многоярусными оползнями, осыпями и оплывинами, образующими у подножья клифа деляпсионные шлейфы. Скорости отступления бровок абразионных уступов составляют 0.5–1.5 м/год. В пределах северных берегов Самбийского п-ова к подножиям уступов примыкает пляж шириной 5–7 м, сложенный преимущественно рыхлым материалом гравийно-галечной размерности с валунами. Местами он представляет собой валунный бенч.

Участки, подверженные размыву, к которым относятся южная оконечность Куршской косы и северная часть Балтийской, а также отрезок техногенного берега от пос. Синявино до мыса Окунево, характеризуются активным уступом размыва высотой 10–12 м,

выработанным в песчаных эоловых и техногенных накоплениях. Скорость отступления уступа, выработанного в эоловых формах, достигает 2.5–3.0 м/год, а в техногенных конусах — до 20 м/год.

Берега с переменным режимом отличаются чередованием периодов размыва и аккумуляции. К ним относятся участок берега Куршской косы от пос. Лесной до пос. Рыбачий и южный отрезок Балтийской косы от пос. Коса до российско-польской границы. Эти берега характеризуются отмершим уступом, выработанным в эоловых формах, высотой 10–12 м, местами до 15 м, со следами размыва на отдельных его участках. Среднегодовая скорость отступления бровки уступа размыва колеблется около 0.5 м/год, но в штормовые периоды она может достигать 1.5–2.0 м/год. К уступу со стороны моря примыкает пляж шириной 25–30 м, сложенный песчаным материалом.

К стабильным относятся берега, не подверженные размыву или абразии. В пределах Калининградской области это центральные части бухт Светлогорской и Пионерской, участок западного берега Самбийского п-ова от мыса Окуневский до пос. Мельниково, отрезок Куршской косы у пос. Рыбачий, а также участок берега, примыкающего к м. Таран. Берег у м. Таран защищен от морского волнения широкой полосой подводного бенча и берегозащитной стенкой, поэтому береговой уступ здесь высотой 45–50 м неактивен и зарос кустарниковой и древесной растительностью.

К нарастающим берегам относятся два участка побережья. Один из них располагается на северо-восточной оконечности российского сектора Куршской косы от ее 40-го километра до российско-литовской границы. Второй представляет собой угол заполнения входящего угла заградительных сооружений порта Балтийск. Берег в этом районе характеризуется аномально широким пляжем (до 100–150 м) и широким развитием в его тыловой части эоловых процессов с формированием эоловых форм рельефа.

Азовское море. На севере моря преобладают тектонически стабильные побережья Приазовского блока древнего Украинского щита; для альпийского Индоло-Кубанского прогиба характерны отрицательные тектонические движения. Между ними лежат структуры эпигерцинской платформы. Восточнее Бердянского разлома в пределах этой платформы распространены обращенные морфоструктуры [17]. Восточное побережье Азовского моря занимает секущее положение по отношению к основным тектоническим структурам, протягивающимся субширотно. Это создает различные тектонические условия для развития экзогенных процессов.

Большая часть побережий Азовского моря за пределами устьев речных долин сложена лёссовидными суглинками, подстилаемыми скифскими глинами, хапровскими и танаисскими песками, известняками меотиса, сармата. Это способствует развитию абразионных и обвальных процессов. Лёссовидные суглинки обладают вертикальной трещиноватостью и хорошо держат уступ. В результате не происходит выполаживания денудационных уступов, а клифы отступают параллельно самим себе. По этим причинам там, где к берегу подходят равнины междуречий, развиты абразионно-обвальные и абразионно-оползневые процессы и бровка уступа отступает [18].

Интенсивность размыва берегов российской части моря особенно возрастает при доминировании волнений западных румбов. Ветер, дующий с востока, представляет меньшую опасность с этой точки зрения, но способен приносить эоловый материал на акваторию и в береговую зону. Влияние ветра способствует развитию эоловых форм на аккумулятивных участках. Поступающие в береговую зону продукты абразии клифов представляют преимущественно материал суглинистого состава, содержащий небольшой процент пляжеобразующих фракций. Поэтому абразия берегов не приводит к образованию широких пляжей; ширина большей части примкнувших к абразионным уступам пляжей составляет 5–15 м, иногда до 30 м. В этих условиях очень большое значение приобретает поступление пляжеобразующего материала со дна. В условиях Азовского моря им служит материал биогенного происхождения — ракуша, раковинный детрит, карбонатный песок.

Количество биомассы моллюсков напрямую зависит от состава и качества воды в море. Зарегулирование стока Дона и Кубани привело к уменьшению притока пресных вод, усилению притока соленых черноморских вод, увеличению численности моллюсков и улучшению питания пляжей органическим материалом. Одновременно ухудшилось питание береговой зоны терригенным материалом, выносимым этими реками [19].

Поскольку море мелководное, для него очень характерны стонно-нагонные явления и сейшевые колебания уровня. Их влияние особенно заметно на низменных побережьях – дельтах Дона и Кубани, лиманах (типа Ейского), участках развития низких террас. На Азовском море большую роль играют квазициклические процессы развития берегов. На фоне продолжающегося эвстатического подъема уровня отмечается чередование аккумуляции и размыва кос, баров в дельтах рек (Кубань), пляжей и других аккумулятивных форм [20]. Цикличность процессов происходит с различной периодичностью; один из проявляющихся циклов – 30–35 лет. Однако в целом эти колебания имеют более сложный характер и состоят из целого ряда гармоник. Это определяет развитие берегов с переменным режимом.

Прямое антропогенное влияние в пределах российских берегов наиболее существенно в трех формах. Во-первых, сооружение портов и причалов в Таганроге, Ейске, Приморско-Ахтарске, Темрюке. Во-вторых, сооружение берегозащитных конструкций на участках особенно интенсивного размыва. Примером таких сооружений могут быть буны в районе Ейска. В-третьих, регулярное изъятие грунта в судоходных каналах, что влияет на структуру баланса наносов побережья. В прошлом большое негативное воздействие оказывало изъятие пляжевого материала. Косвенное влияние оказывают: зарегулирование стока рек, ухудшение качества морской воды, уменьшение поступления эолового материала в результате проведения агротехнических мероприятий на суше [19, 21, 22].

Все вышесказанное определило широкое развитие отступающих берегов; в дельтах Дона и Кубани преобладают берега нарастающие, выдвигающиеся или берега с переменным режимом. На российском побережье Азовского моря полностью отсутствуют стабильные берега, что говорит об их изменчивости в целом.

Черное море¹. В настоящее время черноморские берега Кавказа испытывают размыв на большей части своего протяжения. За последнее столетие аккумуляция наносов была приурочена лишь к локальным участкам, связанным с устьями рек (рр. Псоу, Мзымта), разгрузкой вдольбереговых потоков наносов у аккумулятивных выступов, с задержкой наносов в вогнутостях берега по соседству с размываемыми клифами или с наветренной стороны гидротехнических сооружений при одновременном усилении низового размыва (Сочи). Преобладают песчано-галечные и галечные пляжи. В то же время многие аккумулятивные участки стали испытывать интенсивный размыв в результате сокращения твердого стока рек за счет строительства плотин и водохранилищ, а также изъятия пляжного материала для строительных целей, которое практиковалось вплоть до 1960-х гг.

Определенную роль сыграло возведение портовых молов, преградивших в ряде мест вдольбереговые потоки наносов и вызвавшие усиленный низовой размыв. С южной стороны Сочинского порта такой размыв протекал со скоростью до 4 м/год (был полностью уничтожен пляж шириной 30 м), что потребовало периодической искусственной отсыпки обломочного материала для стабилизации берега [23–25]. На динамику кавказских берегов большое влияние оказывают также верховья подводных каньонов, которые перехватывают часть нагрузки вдольбереговых потоков, вызывая тем самым низовые размывы берега [26, 27].

Берег между мысами Тузла – Панагия представлен абразионно-обвальным, местами – абразионно-оползневым клифом, высотой до 20–35 м. В основании клифа

¹ Обзорная статья по берегам Крыма вышла недавно:

Изнатов Е.И., Лукьянова С.А., Соловьева Г.Д. Морские берега Крыма // Геоморфология. 2016. № 1. С. 55–63. Список литературы – 27 названий.

вскрываются пески и глины верхнего плиоцена, которые сверху перекрываются мощной толщей верхнеплейстоценовых покровных суглинков. На участке берега, прилежащем с юго-востока к м. Тузла, покровные суглинки подстилаются маломощной (до 1.5–2 м) линзой верхнеплейстоценовых (карангатских) песков, которые в прошлом служили одним из источников песчаных наносов для формирования косы Тузла. На достаточно протяженном участке берега в основании клифа залегают плотно сцементированные раннеплейстоценовые ракушечники, защищающие основание берегового уступа от размыва. По данным повторных наблюдений, средняя скорость отступления абразионного уступа на этом участке составляет 0.17 м/год. Однако следует отметить, что на некоторых участках, где развиты обвально-абразионные берега, линейные скорости отступления бровки берегового обрыва могут быть существенно выше (до 1.0–1.5 м/год).

Мыс Железный Рог служит источником наносов и точкой дивергенции потоков наносов, направленных на северо-запад к косе Тузла и на юго-восток – к Анапской пересыпи. На Анапской пересыпи (47 км) действует вдольбереговой поток наносов на юго-восток в сторону Анапы, при этом существенную роль играет поперечный вынос ракушечных наносов на пляж с подводного склона. Скорость размыва берегов в среднем 1.0–1.5 м/год за последние 70 лет.

Абразионно-денудационный берег от Анапы до Туапсе относительно устойчивый, с отмершим клифом и грядовым бенчем шириной от 100 до 800 м на глубинах от 5 до 35 м с уклонами от 0.02–0.03, средняя скорость абразии – 8–10 см/год или до 1 м в 10 лет. На основном протяжении побережья ширина пляжа в среднем 5–7 м [24].

Для Керченско-Таманской области свойственны берега отступающие, а для Западно-Кавказской области (от Анапы до устья р. Псоу) – берега относительно стабильные. Исключение составляют отступающие берега Имеретинской низменности в устьях рек Мзымта – Псоу. Для техногенных берегов свойственен переменный режим развития, зависящий от оперативных ежегодных берегозащитных мероприятий.

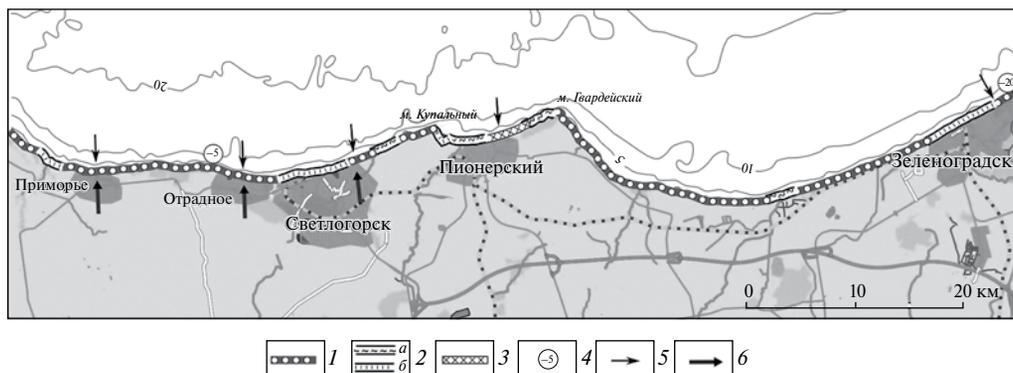
Каспийское море. В пределах российского побережья Каспийского моря выделяются 4 типа берегов по характеру их динамики: 1) берега отступающие, 2) берега выдвигающиеся, 3) берега стабильные, 4) берега с переменным режимом [28–30].

Отступающие берега занимают небольшие участки в корневой части Аграханского полуострова, на западном берегу Сулакской бухты, с мористой стороны бара отмершей сулакской дельты и на Караманском участке побережья (к северу от г. Махачкала). Во время подъема уровня моря после 1978 г. берега на этих участках отступали со значительными скоростями, так как сложены рыхлыми, легко размываемыми породами, а высота клифов невелика – от 1–2 м в районе Сулакской бухты до 3–4 м на Караманском участке и в черте г. Каспийска (в Каспийске размыв берега прекратился в связи со строительством берегоукрепительных сооружений).

Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что берега в черте г. Каспийска и на Караманском участке в некоторые годы отступали на 10–12 м/год. Размыв берегов практически на всех вышеуказанных участках связан с хозяйственной деятельностью.

К выдвигающимся отнесены лагунные берега. Обусловлено это тем, что к береговым валам (барам), сформированным к 1996 г. при уровне моря –26.7 м БС (Балтийской системы высот), за последние 16 лет в результате падения уровня более чем на 0.7 м, причленились новые серии береговых валов. Этот процесс усилился за последние три года, когда уровень Каспия падал со средней скоростью более 8 см/год.

К стабильным отнесены абразионные берега, клифы которых сложены стойкими к размыву породами: ракушечными известняками и песчаниками сармата (в районе гг. Махачкала и Избербаш), а также техногенные берега в гг. Каспийск и Дербент. Более или менее стабильный берег наблюдается на одном из участков старой дельты Терека (от корневой части Суюткиной косы на севере до с. Новотеречное на юге), находящемся под “защитой” Аграханского п-ова и о-ва Чечень.



Фрагмент схемы прогноза развития северных берегов Самбийского п-ова (Балтийское море) до 2060 г. Тенденция изменения положения береговой линии: 1 – отступление, 2 – стабильное состояние под влиянием факторов (а – гидродинамических, б – антропогенных), 3 – стабилизация; 4 – величина отступления берега, м; участки берега, подверженные риску при: 5 – экстремальных штормах, 6 – изменении параметров экзогенных процессов на прилегающей суше

Значительную часть Российского побережья Каспия (дельта Волги и Калмыцкое побережье) занимают берега с переменным режимом. Так как эти участки берега характеризуются исключительной отмелостью подводного берегового склона (уклоны 0.0005 и менее) и такими же уклонами прилегающей суши, то даже при небольших кратковременных осцилляциях уровня за последние 16 лет береговая линия смещалась здесь в ту или другую сторону на десятки метров.

Учитывая тот факт, что уровень Каспия не остается постоянным и в ближайшем будущем (даже при современных параметрах водного баланса) может подняться или опуститься на метр и более, перечисленные выше динамические типы берегов могут претерпеть кардинальные изменения.

Принципы прогноза развития берегов²

Опыты прогноза развития морских берегов Европейской России предпринимались неоднократно (см., напр. [31]). На основании этих и многих других работ, а также учитывая собственный опыт, были разработаны принципы прогноза развития берегов [32]. Их можно сформулировать как серию особых подходов, каждый из которых отражает последовательную стадию прогноза:

1. Бассейновый подход – учет особенностей определенного морского водоема;
2. Региональный подход – учет характеристик рассматриваемого побережья;
3. Анализ современного состояния берегов – через проведение их типизации;
4. Ретроспективная реконструкция развития берегов;
5. Сценарный (предметный) подход – геоморфологический прогноз.

Предлагаемый перечень может служить основой любого прогноза развития морских берегов, хотя для конкретных случаев он вполне может быть расширен.

На рисунке в качестве примера показан фрагмент схемы прогноза развития северных берегов Самбийского п-ова на Балтике до 2060 г.

² Карты прогноза развития берегов ключевых участков морей Европейской России включены в отчет Лаборатории оценки природного риска географического факультета МГУ “Оценка рисков природных катастроф в береговой зоне” за 2012 г.; оригиналы карт хранятся у авторов. Сайт лаборатории <http://www.nral.org/ru/>.

Заключение

Межправительственная группа по климатическим изменениям опубликовала в 1990 г. прогноз повышения уровня Мирового океана. Наиболее вероятной величиной считается подъем на 60 ± 35 см к концу XXI в. Приведенный обзор показывает, что при подъеме уровня моря на 0.5 м тенденции к размыву берегов усилятся не повсеместно. На побережьях Балтийского щита поднятие суши будет компенсировать подъем уровня. Увеличится высота приливов и нагонов, особенно на опускающихся берегах. Однако для каждого района нужен детальный анализ развития берегов в соответствии с приведенными принципами.

Благодарность. Работа выполнена по теме госзадания АААА-А16-11632810089-5 “Эволюция природной среды, динамика рельефа и геоморфологическая безопасность природопользования”, а также по теме договора № 11.G34.31.0007 от 30.11.2010 г. между Минобрнауки РФ, МГУ им. М.В. Ломоносова и К.П. Колтерманом по направлению “Оценка рисков природных катастроф в береговой зоне”.

Acknowledgements. The paper was prepared on the base of the state task order АААА-А16-11632810089-5 “Evolution of the natural environment, the dynamics of the relief and geomorphological safety of environmental management”, and also on the agreement No. 11.G34.31.0007 (30.11.2010) between the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Lomonosov Moscow State University and K.P. Colterman in the field of “Assessment of the natural disasters hazards in the coastal zone”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геоэкология шельфа и берегов морей России. М.: ИД “Ноосфера”, 2001. 428 с.
2. Сафьянов Г.А. Прибрежно-морские процессы // География, общество, окружающая среда / Гл. ред. Н.С. Касимов. Т. 1. “Структура, динамика и эволюция природных геосистем”. М.: ИД “Городец”, 2004. С. 130–175.
3. Леонтьев И.О. Прибрежная динамика: волны, течения, потоки наносов. М.: ГЕОС, 2001. 272 с.
4. Леонтьев И.О. Морфодинамические процессы в береговой зоне моря. Саарбрюккен: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 251 с.
5. <http://earth.google.com>
6. Дунаев Н.Н., Репкина Т.Ю., Авенариус И.Г., Леонтьев И.О. Роль новейшей тектоники в современной динамике морской береговой зоны платформенных областей Российской Арктики // ДАН. 2011. Т. 437. № 2. С. 258–260.
7. Авенариус И.Г., Львова Л.А., Репкина Т.Ю., Сорокина Е.П. Геолого-геоморфологические аспекты эколого-геоморфологического картографирования прибрежно-шельфовых зон Печорского моря // Главнейшие события в изучении четвертичного периода и основные направления исследований в XXI веке. СПб.: ВСЕГЕИ, 1998. С. 186–187.
8. Огородов С.А. Морфодинамическое районирование береговой зоны Печорского моря // Геоморфология. 2003. № 1. С. 72–79.
9. Огородов С.А., Камалов А.М., Баурчулу Т.С., Ермолов А.А. Антропогенный фактор в развитии берегов Варандейского промышленного участка // Человечество и береговая зона Мирового океана. М.: ГЕОС, 2001. С. 416–422.
10. Сафьянов Г.А., Соловьева Г.Д. Геоморфология дна и берегов Белого моря // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 2005. № 3. С. 54–62.
11. Медведев В.С. О темпе абразии берегов Белого моря в голоцене // Литодинамика, литология и геоморфология шельфа. М.: Наука, 1976. С. 130–142.
12. Сафьянов Г.А., Репкина Т.Ю., Селезнева Е.В., Кунгаа М.Ч. Морфодинамика берега как критерий долгосрочного прогноза развития побережий (на примере Летнего берега Белого моря) // Геоморфологические ресурсы и геоморфологическая безопасность: от теории к практике. М.: МАКС Пресс, 2015. С. 172–175.
13. Рябчук Д.В., Спиридонов М.А., Сухачева Л.Л. Рельеф, геологическое строение и экзогенные геологические процессы береговой зоны Курортного района Санкт-Петербурга // Региональная геология и металлогения. 2008. № 36. С. 109–120.

14. Рябчук Д.В., Колесов А.М., Сергеев А.Ю. Абразионные процессы в береговой зоне восточной части Финского залива и их связь с многолетними трендами режимобразующих факторов // Геоморфология. 2012. № 4. С. 99–105.
15. Леонтьев И.О., Рябчук Д.В., Спиридонов М.А., Куренной Д.Н. Береговой профиль восточной части Финского залива: результаты наблюдений и реконструкция развития в позднем голоцене // Океанология. 2011. Т. 50. № 6. С. 1034–1044.
16. Бадюкова Е.Н., Жиндарев Л.А., Лукьянова С.А., Соловьева Г.Д. Развитие барьерно-лагунных систем юго-восточной Балтики // Океанология. 2008. Т. 48. № 4. С. 64–67.
17. Мысливец В.И. Морфоструктурная основа экосистемы Азовского моря // Комплексный мониторинг среды и биоты Азовского бассейна. Т. VI. Апатиты: ММБИ КНЦ РАН, 2004. С. 28–43.
18. Ивлиева О.В., Бердников С.В. Современные скорости разрушения берегов Российского побережья Азовского моря // Геоморфология. 2005. № 4. С. 74–83.
19. Ещенко Л.А., Шпилова Л.М. О причинах вариаций межгодовой активности динамики береговой зоны // Эволюция берегов в условиях поднятия уровня океана. М.: ИО РАН, 1992. С. 57–69.
20. Пешков В.М. На рубеже земли и моря. Берега Кубани и Мирового океана. Краснодар: Традиция, 2013. 334 с.
21. Артюхин Ю.В., Артюхина О.И., Родионова Н.Б. Ейское морское побережье: история и проблемы освоения, природные основы реконструкции. Ейск: Фонд науки и образования, 2015. 205 с.
22. Артюхин Ю.В., Артюхина О.И., Сулов О.Н., Шереметьев В.М. Природные условия северного региона Краснодарского края и проблемы хозяйственного освоения его морского побережья. Ростов-н/Д: Фонд науки и образования, 2016. 142 с.
23. Балабанов И.П., Никифоров С.П., Пашковский И.С. Имеретинская низменность. Природно-геологические условия, проблемы освоения. М.: Недра, 2011. 281 с.
24. Игнатов Е.И. Геоморфологические аспекты технологии берегозащиты (на примере береговой зоны Имеретинской низменности) // Береговая зона – взгляд в будущее / Мат-лы XXV междунар. береговой конф. М.: ГЕОС, 2014. С. 125–127.
25. Игнатов Е.И. Геоморфологическая экспертиза современного состояния и прогноз развития Черноморских берегов России // Морские берега – эволюция, экология, экономика / Мат-лы XXIV междунар. береговой конф., посвященной 60-летию Рабочей группы “Морские берега” (Туапсе, 1–6 октября 2012 г.). Т.1. Краснодар: ИД “Юг”, 2012. С. 180–183.
26. Сафьянов Г.А., Меншиков В.Л., Пешков В.М. Подводные каньоны – их динамика и взаимодействие с береговой зоной океана. М.: ВНИРО, 2001. 198 с.
27. Ярославцев Н.А., Сафьянов Г.А., Петров В.А. Морфодинамика системы подводных каньонов морского края Имеретинской низменности (Черное море) // Сложные системы. 2016. № 2 (19). С. 28–53.
28. Рычагов Г.И., Никифоров Л.Г., Жиндарев Л.А. Развитие берегов Каспийского моря в условиях современного повышения уровня // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 1996. № 4. С. 51–59.
29. Игнатов Е.И., Огородов С.Л., Сафьянов Г.А. Особенности морфодинамики аккумулятивных берегов Каспийского моря на современном этапе // Геоморфология. 1999. № 1. С. 56–63.
30. Рычагов Г.И. Колебания уровня Каспия: причины, последствия, прогноз // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 2011. № 2. С. 4–13.
31. Каплин П.А., Селиванов А.О. Изменения уровня морей России и развитие берегов (прошлое, настоящее, будущее). М.: ГЕОС, 1999. 300 с.
32. Бадюкова Е.Н., Жиндарев Л.А., Лукьянова С.А., Соловьева Г.Д., Селезнева Е.В. Принципы прогноза морских берегов северного побережья Самбийского полуострова (Балтика) на ближайшие 50 лет // Геоморфология и картография / Мат-лы XXXIII Пленума Геоморфологической комиссии РАН. Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 2013. С. 334–337.

REFERENCES

1. *Geoekologiya shelfa i beregov morej Rossii* (Geocology of the shelf and shores of the seas of Russia). Moscow: Noosfera (Publ.), 2001. 428 p.
2. Safyanov G.A. Coastal-marine processes, in *Geografiya, obshchestvo, okruzhayushchaya sreda* (Geography, society, Environment). N.S. Kasimov. Ch. Ed. V. 1. “Structure, dynamics and the evolution of natural geosystems”. Moscow: Gorodets (Publ.), 2004. P. 130–175.
3. Leontyev I.O. *Pribrezhnaya dinamika: volny, techeniya, potoki nanosov* (Coastal dynamics: waves, currents, deposits drifts). Moscow: GEOS (Publ.), 2001. 272 p.

4. Leontyev I.O. *Morfodinamicheskiye processy v beregovoy zone morey* (Morphodynamic processes in the marine coastal zone). Saarbruecken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 251 p.
5. <http://earth.google.com>
6. Dunaev N.N., Repkina T. Yu., Avenarius I.G., and Leontyev I.O. Contribution of the recent tectonics in the modern dynamics of marine coastal zone of platform regions of the Russian Arctic. *DAN (Dokl. Akad. Nauk)*. 2011. Vol. 437. No. 2. P. 258–260. (in Russ.)
7. Avenarius I.G., Lvova L.A., Repkina T. Yu., and Sorokina E.P. Geologic-geomorphologic considerations of ecologic-geomorphologic mapping of the Pechorskoye sea coastal-offshore zones, in *Glavnejshie sobytiya v izuchenii chetvertichnogo perioda I osnovnye napravleniya issledovaniy v XXI veke* (Key events in the Quaternary period studies and major lines of research in XXI century). S-Petersburg: VSEGEI (Publ.), 1998. P. 186–187.
8. Ogorodov S.A. Morphodynamic division of the Pechora sea coastal zone. *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2003. No. 1. P. 72–79. (in Russ.)
9. Ogorodov S.A., Kamalov A.M., Baurchulu T.S., and Ermolov A.A. Anthropogenic factor in the development of the Varandeykiy industrial site coasts, in *Chelovechestvo i beregovaya zona Mirovogo okeana* (Mankind and coastal zone of the World Ocean). Moscow: GEOS (Publ.), 2001. P. 416–422.
10. Safyanov G.A. and Solovyova G.D. Geomorphology of bottom and shores of the White sea. *Vestn. Mos. Univ. Ser. 5. Geogr.* 2005. No. 3. P. 54–62. (in Russ.)
11. Medvedev V.S. Concerning the rate of abrasion of the White sea coasts in the Holocene, in *Litodinamika, litologiya i geomorfologiya shelfa* (Lithodynamics, lithology and geomorphology of shelf). Moscow: Nauka (Publ.), 1976. P. 130–142.
12. Safyanov G.A., Repkina T. Yu., Seleznyova E.V., and Kungaa M. Ch. Coastal morphodynamics as the factor of long-term forecast of the coasts development (the case of Letniy coast of the White sea), in *Geomorfologicheskie resursy I geomorfologicheskaya bezopasnost: ot teorii k praktike* (Geomorphologic resources and geomorphologic safety: from theory to practice). Moscow: MAKS Press (Publ.), 2015. P. 172–175.
13. Ryabchuk D.V., Spiridonov M.A., and Sukhacheva L.L. Relief, geologic structure and exogenous processes of the coastal zone of the Kurortny district of Saint-Petersburg. *Region. Geol. i Metallogen.* 2008. No. 36. P. 109–120. (in Russ.)
14. Ryabchuk D.V., Kolesov A.M., and Sergeev A. Yu. Abrasion in the Eastern Gulf of Finland coastal zone and its relation to long-term trends of regime-forming factors. *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2012. No. 4. P. 99–105. (in Russ.)
15. Leontyev I.O., Ryabchuk D.V., Spiridonov M.A., and Kurennoy D.N. Coastal section of the eastern part of the Gulf of Finland: results of observations and reconstruction of development in late Holocene. *Okeanologiya*. 2011. Vol. 50. No. 6. P. 1034–1044. (in Russ.)
16. Badyukova E.N., Zhindarev L.A., Lukyanova S.A., and Solovyova G.D. Development of the barrier-lagoon systems of the south-eastern Baltic. *Okeanologiya*. 2008. Vol. 48. No. 4. P. 64–67. (in Russ.)
17. Myslivets V.I. Morphostructural basis of the Azov sea ecosystem, in *Compleksnyy monitoring sredy i bioty Azovskogo bassejna* (Complex monitoring of the environment and biota of the Azov basin). Vol. VI. Apacity: MMBI KKhTs RAN (Publ.), 2004. P. 28–43.
18. Ivlieva O.V. and Berdnikov S.V. Recent destruction rates of the Azov sea beaches in Russia. *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2005. No. 4. P. 74–83. (in Russ.)
19. Eshchenko L.A. and Shipilova L.M. Concerning causes of variations of the interannual dynamics activity of the coastal zone, in *Evolutsiya beregov v usloviyakh podnyatiya urovnya okeana* (Evolution of the coasts under the conditions of the ocean level upraise). Moscow: IO RAN (Publ.), 1992. P. 57–69.
20. Peshkov V.M. *Na rubezhe zemli i morya. Berega Kubani i Mirovogo okeana* (On the border between land and sea. Shores of the Kuban river and the World Ocean). Krasnodar: Traditsiya (Publ.), 2013. 334 p.
21. Artyukhin Yu.V., Artyukhina O.I., and Rodionova N.B. *Eiskoe morskoe poberezhje: istoriyua y problemy osvoeniya, prirodnye osnovy rekonstruktsii* (The marine coast of Eisk: history and development problems, natural basis of reconstruction). Eisk: Fond nauki i obrazovaniya (Publ.), 2015. 205 p.
22. Artyukhin Yu.V., Artyukhina O.I., Suslov O.N., and Sheremetyev V.M. *Prirodnye usloviya severnogo regiona Krasnodarskogo kraya i problem khozyajstvennogo osvoeniya ego morskogo poberezhya* (Natural conditions of the northern Krasnodar region and problems of anthropogenic development of its marine coasts). Rostov-on-Don: Fond nauki i obrazovaniya (Publ.), 2016. 142 p.
23. Balabanov I.P., Nikiforov S.P., and Pashkovskiy I.S. *Imeretinskaya nizmennost. Prirodno-geologicheskie usloviya, problem osvoeniya* (Imeretinskaya lowland. Natural-geologic conditions, development problems). Moscow: Nedra (Publ.), 2011. 281 p.

24. Ignatov E.I. Geomorphologic aspects of coastal protection technologies (in the case of the Imeretinskaya lowland coastal zone), in *Beregovaya zona – vzglyad v budushchee* (Coastal zone – looking forward). XXV Int. coastal conf. Moscow: GEOS (Publ.). 2014. P. 125–127.
25. Ignatov E.I. Geomorphologic expertise of modern condition and forecast of development of the Russian Black sea coasts, in *Morskie berega – evolyutsiya, ekologiya, ekonomika* (Sea coasts – evolution, ecology, economics). XXIV Int. coastal conf. for «Morskie berega» working party 60-th anniversary (Tuapse, October 1–6, 2012). Vol. 1. Krasnodar: Yug (Publ.), 2012. P. 180–183.
26. Safyanov G.A., Menshikov V.L., and Peshkov V.M. *Podvodnye kanyony – ikh dinamika i vzaimodejstvie s beregovoj zonoj okeana* (Underwater canyons – dynamics and interaction with ocean coastal zone). Moscow: VNIRO (Publ.), 2001. 198 p.
27. Yaroslavtsev N.A., Safyanov G.A., and Petrov V.A. Morphodynamics of the underwater canyons of the Imeretinskaya lowland sea region (Black sea). *Slozhn. Sist.* 2016. No. 2 (19). P. 28–53. (in Russ.)
28. Rychagov G.I., Nikiforov L.G., and Zhindarev L.A. Development of the Caspian sea coasts in the conditions of modern level upraise, in *Vestn. Mosk. Univ. Ser. 5. Geogr.* 1996. No. 4. P. 51–59. (in Russ.)
29. Ignatov E.I., Ogorodov S.L., and Safyanov G.A. Features of the morphodynamics of the accumulative shores of the Caspian Sea on modern stage. *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 1999. No. 1. P. 56–63. (in Russ.)
30. Rychagov G.I. Fluctuations of the Caspian sea level: causes, consequences, forecast. *Vestn. Mosk. Univ. Ser. 5. Geogr.* 2011. No. 2. P. 4–13. (in Russ.)
31. Kaplin P.A. and Selivanov A.O. *Izmenenie urovnya morej Rossii i razvitie beregov (proshloe, nastoyashchee, budushchee)* (Change of the seas' level of Russia and development of coasts (past, present, future). Moscow: GEOS (Publ.), 1999. 300 p.
32. Badyukova E.N., Zhindarev L.A., Lukjanova S.A., Solovyova G.D., and Seleznyova E.V. Principles of forecast of the northern Sambiyskiy peninsula sea coasts (Baltic) for the next 50 years, in *Geomorfologiya i kartografiya* (Geomorphology and cartography). Proc. of XXXIII Conf. Geomorph. Comm. RAS. Saratov: Publ. House Saratov. Univ., 2013. P. 334–337.