

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Волков Виталий Владимирович — инженер-гидрограф.
ЗАО «РОМОНА»
volkovvv1982@mail.ru
Елагин Антон Анатольевич — аспирант.
Научный руководитель:
Шматков Владимир Антонович — доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
elagintony@gmail.com
Демидов Александр Леонидович — аспирант.
Научный руководитель:
Шматков Владимир Антонович — доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
alexandrдемидов@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Volkov Vitaliy Vladimirovich — hydrographic surveyor.
ROMONA Inc.
volkovvv1982@mail.ru
Elagin Anton Anatolievich — postgraduate.
Supervisor:
Shmatkov Vladimir Antonovich — Dr. of Technical science, professor
Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping
elagintony@gmail.com
Demidov Aleksandr Leonidovich — postgraduate.
Supervisor:
Shmatkov Vladimir Antonovich — Dr. of Technical science, professor
Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping
alexandrдемидов@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 13 июля 2015.

УДК 551.4

**Д. М. Белов,
Н. И. Дорошенко**

**ОСНОВЫ МЕТОДИКИ УПРАВЛЕНИЯ МОРФОДИНАМИКОЙ
БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ**

Приведены теоретические основы управления объектами неживой природы, в том числе береговой зоны, базирующиеся на определении главных целей, которые должны достигаться в результате обозначенного процесса. Чаще всего одной из основных целей является восстановление равновесного состояния морфодинамической системы, которое достигается корректировкой контрольных параметров, описывающих её существующее состояние. Приведены определения основных используемых в настоящей статье терминов. Изложены основные положения математического моделирования динамики береговой зоны моря, представлена схема такой модели и указаны участки береговых зон различных морей, на которых эта математическая модель применялась. Показаны примеры её удачного использования для управления морфодинамическими системами в береговой зоне Финского залива в районе пос. Нарва-Йыэсуу (Эстонская республика), включая использование искусственного гидротехнического сооружения — подводного песчаного рифа для подпитки восстанавливаемого пляжа и формирование авандюны с помощью металлической трубы большого диаметра.

Ключевые слова: береговая зона моря, управление процессами и объектами, реформирование, морфодинамика.



НАСТОЯЩАЯ статья посвящена вопросу защиты и восстановления морских побережий от негативного воздействия на него как природных процессов, так и антропогенного воздействия. Данная тема является особенно актуальной для побережья Финского залива в границах Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга. Это, прежде всего, связано с большим объёмом строительства (как гидротехнического, обусловленного строительством портовых ком-

плексов, так и рекреационного, определённого обустройством береговой зоны под места летнего отдыха для граждан). В связи с этим, для выявления причин таких воздействий и ликвидации их отрицательных последствий, нами предлагается использование методики управления морфодинамическими процессами в береговой зоне. Её применение планируется на юго-восточном побережье Финского залива в границах Ломоносовского района Ленинградской области. Также в работе приводятся данные натурных исследований, выполненных в 2015 г., которые позволили определить начальное состояние береговой зоны (до осуществления управляющих воздействий на указанный участок побережья). Проведенные исследования являются актуальными и с сугубо практической целью — ликвидацией угрозы разрушения участка автомобильной дороги, соединяющего г. Санкт-Петербург с ЛАЭС.

Как следует из общей теории управления, при её осуществлении возможна постановка двух основных задач:

- управление непосредственно самим объектом в процессе его функционирования;
- управление объектом без непосредственного вмешательства в процесс, так называемое *самоуправление*.

Чтобы добиться положительного, т. е. желаемого в процессе управления результата, необходимыми являются следующие условия, представляющие собой определённый объем информации.

Во-первых, это набор достаточных целей управления или, иначе, перечень того, чего мы хотим добиться в результате управления объектом. Поскольку таких целей может быть несколько, то их порядок определяется по их значимости.

Во-вторых, перечень текущего, или, если такового нет, то прогнозируемого состояния контрольных параметров, описывающих реальное поведение объекта на пути достижения поставленной цели.

В ходе осуществления процесса управления появляется информация о существующих погрешностях управления, т. е. список не достигнутых по тем или иным причинам каких-либо ранее заданных целей. Это даёт возможность в ходе управления вносить необходимые коррективы и добиваться повышения качества управления. Кроме того, комплект выявленных ошибок является основой для формирования оценки качества управления.

Сопоставление информации о состоянии объекта с целями управления им позволяет определить и осуществить необходимое управляющее действие. Затем для осуществления дальнейшего управления объектом находятся дополнительные параметры, описывающие состояние объекта, окружающей среды и т. д. Указанные параметры можно разделить следующим образом:

- *управляемые*, которые можно скорректировать воздействием со стороны субъекта управления, что повлечёт за собой изменение контрольных параметров;
- *свободные*, которые изменяются при трансформации управляемых параметров, входящих отдельной группой в состав целей управления.

При этом необходимо отметить, что в изменении управляемых параметров выражается управляющее воздействие, которое составляет обособленную часть процесса управления объектом.

Методика управления морфодинамическими процессами в береговой зоне моря основана на следующих положениях. При анализе состояния береговой зоны наиболее правильным и рациональным является применение системного подхода, основанного на выделении в упомянутой зоне определённых организационных структур — морфодинамических систем [1]. Такие системы могут быть как *открытыми*, т. е. связанными между собой вдольбереговыми потоками наносов, так и *закрытыми*, не имеющими такой связи. Процесс управления в этом случае обычно заключается в восстановлении состояния равновесия в береговой зоне. Это можно объяснить тем, что негативные воздействия на неё [2], проявляющиеся в переформировании различных частей такой зоны, связаны с нарушением её устойчивости.

Добиться восстановления зоны в целом или её различных частей можно лишь зная закономерности развития побережий. Для осуществления управления динамикой береговых зон необходимо, прежде всего, выделение в них локальных морфодинамических систем, для чего проводит-

ся их детальное обследование, результатом которого является определение состояния береговой зоны и её разделение на морфодинамические системы [3]. Определив начальное состояние побережья и локализацию негативного воздействия на неё (т. е. в каких локальных морфодинамических системах произошли наибольшие переформирования), затем можно приступить к установлению причин происшедшего и, в дальнейшем, к ликвидации его последствий. Управление в данном случае осуществляется с помощью математической модели динамики береговой зоны. Зная начальное состояние этой зоны и динамику её развития на модели, можно получать промежуточные состояния зоны и корректировать ход процесса управления. Это во многом позволит сэкономить время и трудозатраты при достижении положительного результата.

При переходе непосредственно к вопросу управления морскими береговыми морфодинамическими системами нужно иметь в виду, что под изменениями в береговой зоне понимаются нарушения в строении её надводной и подводной части, происходящие под воздействием как природных, так и антропогенных факторов, одним из которых может быть загрязнение вод [4]. В рамках временных масштабов хозяйственной деятельности в этой зоне можно с достаточной долей уверенности считать доминирующими в данном процессе гидродинамические воздействия [5], [6]. Другим по значимости фактором, приводящим к значительным переформированиям в береговой зоне моря, является осуществляемая здесь хозяйственная деятельность [7], [8].

Следует отметить, что надводные и подводные изменения рельефа неотделимы от перемещения наносов, баланс которых гарантирует пространственно-временную устойчивость систем [9]. Перемещение наносов следует в данной трактовке рассматривать как одну из сторон выражения процесса переформирования, а морфологические изменения рельефа — как его внешнее проявление. Известно, что по форме перемещения отдельной твёрдой частицы наносы делятся на *влекомые*, которые являются более крупными из имеющихся в потоке, и *взвешенные* в нём. Причём первые можно охарактеризовать как основные, формирующие прибойную часть рельефа береговой зоны. Образующие в береговой зоне водные потоки обладают способностью в широких пределах изменять свою транспортирующую способность в зависимости от режима, количества и состава поступающих в них наносов [10], [11]. Это достигается морфодинамическими преобразованиями в береговой зоне, а также изменением состава донных отложений. Кинематическая структура скоростного поля водных потоков, так же, как и морфология береговой зоны, имеет четко выраженный дискретный характер. Эта дискретность выражается в образовании целостных морфодинамических систем, которые состоят из структурных элементов меньшего размера и иного строения (например, участков берегов различных видов и типов).

Исходя из ранее изложенного, можно предложить следующую схему управления морфодинамическими процессами в береговой зоне моря. На начальном (первом) этапе, в ходе проведения натурных исследований в изучаемой береговой зоне, выделяются локальные морфодинамические системы, двух типов: *открытые* и *закрытые*. В качестве примера приведём береговую зону, расположенную в южной части Финского залива от м. Шепелево до побережья в районе пос. Малая Ижора, где было выделено пять участков береговой зоны, представляющих собой открытые локальные взаимосвязанные морфодинамические системы (рис. 1):

- бухтовый участок (м. Шепелево — м. Серая лошадь);
- участок открытых бухт (м. Серая лошадь — м. Малый);
- выровненный участок с имеющимися открытыми бухтами (м. Малый — устье р. Лебяжья);
- выровненный участок (устье р. Лебяжья — устье р. Ижора);
- выровненный участок (устье р. Ижора — 51-й км автодороги г. Санкт-Петербург — пос. им. Первого Мая).

После выделения морфодинамических систем можно приступить к определению наиболее уязвимых их частей. После того как определены основные количественные и качественные характеристики системы и степень её повреждения (по сравнению с состоянием этой системы до воздействия на неё), необходимо установить основные цели управления ею, которыми могут являться восстановление системы до равновесного состояния, ликвидация отрицательных воз-

действий на неё со стороны хозяйственной деятельности человека и созданной им соответствующей структуры и др.

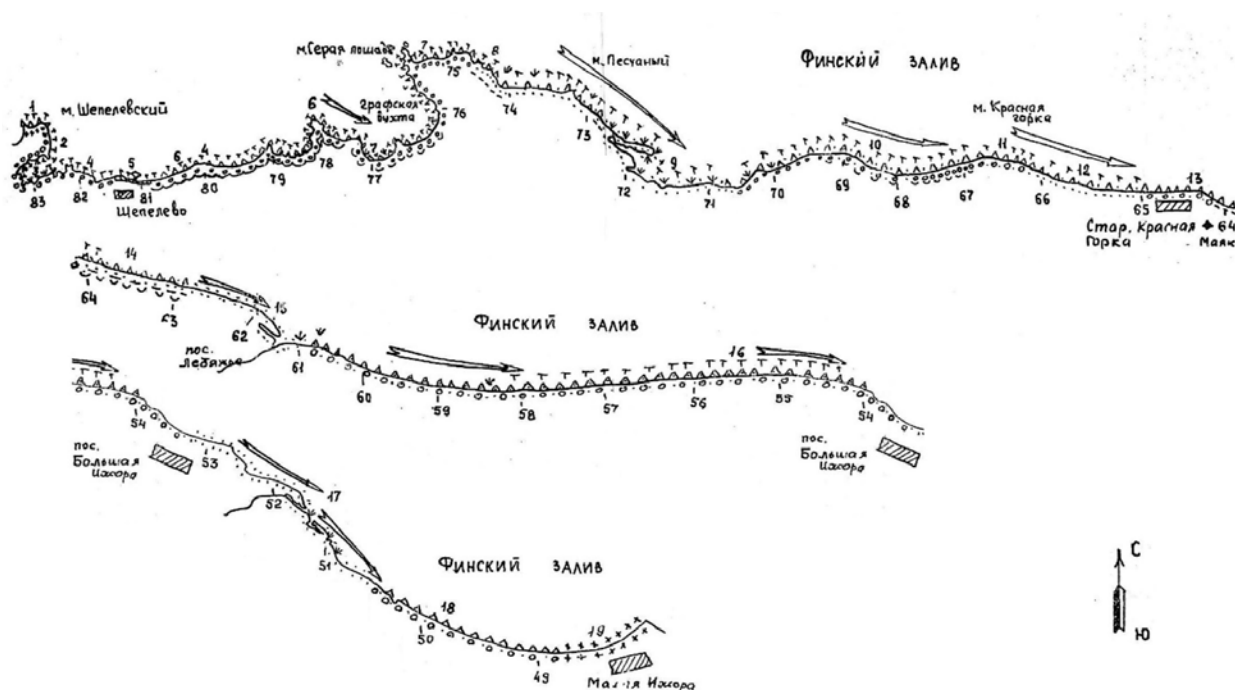


Рис. 1. Морфодинамическая карта берегов Финского залива (м. Шепелево — Старая Красная горка — Малая Ижора):

- 1 — абразионный берег, укрепленный бетонной стенкой, отмель валунная;
- 2 — низкий слабо размываемый берег, сложенный песком с валунной отмосткой;
- 3 — низкий зарастающий берег с валунами на отмели; 4 — низкий неразмываемый берег с валунной отмосткой;
- 5 — берег, укрепленный бетонной стенкой ($H = 1,6$ м в 10 м от уреза);
- 6 — абразионный бухтовый (с валунными мысами) песчаный берег с валунами на отмели;
- 7 — абразионный низкий (абразионный уступ 0,7 – 1,2) песчаный берег с валунами на отмели и валунной «отмосткой»;
- 8 — деградирующий аккумулятивный участок с сохранившейся авандюной (0,5 – 0,8 м, ширина 15 – 20 м);
- 9 — низкий аккумулятивный, песчаный, зарастающий берег (на 350 – 400 м камыши и осока);
- 10 — абразионный, песчаный берег (1,8 – 2,0 м) с песчаным пляжем (25 – 26 м);
- 11 — абразионный высокий (до 20 – 22 м) берег, сложенный песчаными и валунными отложениями с валунным пляжем (10 – 11 м);
- 12 — деградирующий аккумулятивный, песчаный берег с сохранившейся авандюной (до 20 м);
- 13 — высокий абразионный обвальнo-осыпной берег, сложенный песком с валунами. Бенч, покрытый валунами;
- 14 — деградирующий аккумулятивный берег с сохранившейся авандюной (до 1,5 м высотой и до 8 – 9 м шириной);
- 15 — аккумулятивный берег с песчаным пляжем (до 50 – 60 м);
- 16 — абразионный, песчаный обвальнo-осыпной берег с песчаным пляжем (20 – 22 м) и валунами на отмели;
- 17 — аккумулятивный берег с песчаным пляжем (50 – 60 м) на значительном участке зарастающий;
- 18 — абразионный низкий берег (размыты в последние 3 года 5 – 6 м);
- 19 — низкий берег, укрепленный каменной наброской (3,5 – 4,0 м³/м)

На следующем (втором) этапе управления необходимо определить то состояние, к которому необходимо привести систему. Это можно осуществить, используя принцип аналогий морфодинамических процессов в схожих природных условиях. Задать промежуточные контрольные состояния можно с помощью математических моделей береговой зоны моря, описывающих с достаточной степенью достоверности происходящие в ней природные процессы. Для этого в работе предлагается использовать многократно применённую авторами математическую модель морфодинамики береговой зоны водоёмов [3]. Эта модель была с успехом применена для моделирования морфодинамических процессов в береговых зонах, расположенных в Балтийском, Белом и Каспийском море. С её помощью можно определять промежуточные контрольные состояния

береговой зоны при осуществлении управляющего воздействия, а также моделировать такое воздействие при изменении значений управляемых параметров [12].

Предлагаемая математическая модель переформирования береговой зоны представляет собой комплекс расчётных блоков, вычисляющих различные природные процессы, происходящие в береговой зоне (рис. 2). Первые два блока содержат информационную базу для последующих расчётов, пятый и шестой блоки также информационные, а остальные четыре — программы для вычисления параметров гидравлических и морфодинамических процессов. Расчёт указанных процессов выполняется по плановой схеме участка, позволяя моделировать процессы переформирования как в рамках целостной морфодинамической системы, так и отдельных её частей, интересующих исследователя. Такой переход возможен, например, при использовании метода телескопирования. Расчётная схема рассматриваемой модели основана на следующей системе уравнений:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial \rho_n}{\partial t} + \frac{1}{H_0} \left\{ \frac{\partial(H_0, \rho_n, u_x)}{\partial x} + \frac{\partial(H_0, \rho_n, u_y)}{\partial y} \right\} &= \frac{\rho_n}{L^* H_0} (T_{sc} - T_s); \\ H_1 &= \frac{u^2}{\delta_0 c_{sh}^2} - \frac{w_0 u}{\delta_0 \sqrt{g c_{sh}}} + d_0; \\ g \rho_0 (u_x - u_{1x}) \sqrt{u_x^2 - u_{1x}^2} - g (\rho_{1n} - \rho_0) H_1 f_{OK} \frac{u_{1x}}{\sqrt{u_1}} \cos \alpha_x - g H_1 \rho_{1n} \frac{\partial f_{OK}}{\partial x} &= 0; \\ \frac{\partial f}{\partial t} &= -\frac{1}{2 - m_r} \frac{\partial H_1}{\partial t} - \frac{1}{2 - m_r} \frac{\partial}{\partial x} (H_1 - u_{1x}) - \frac{1}{2 - m_r} \frac{\partial}{\partial y} (H_1 - u_{1y}) + \frac{T_s - T_{sc}}{(2 - m_r) L^*} \end{aligned} \right.$$

где ρ_n — плотность потока наносов; H_0 — толщина потока; u_x, u_y — составляющие скорости потока; L^* — характеристическая длина; T_{sc} — транспортирующая способность потока; T_s — перемещаемая потоком масса наносов; ρ_0 — концентрация частиц в потоке; f_{OK} — тангенс угла внутреннего трения частиц грунта; m_r — коэффициент пористости грунта; δ_0 — относительный объемный вес наносов; H_1 — толщина придонного слоя; α — угол подхода волн к берегу.

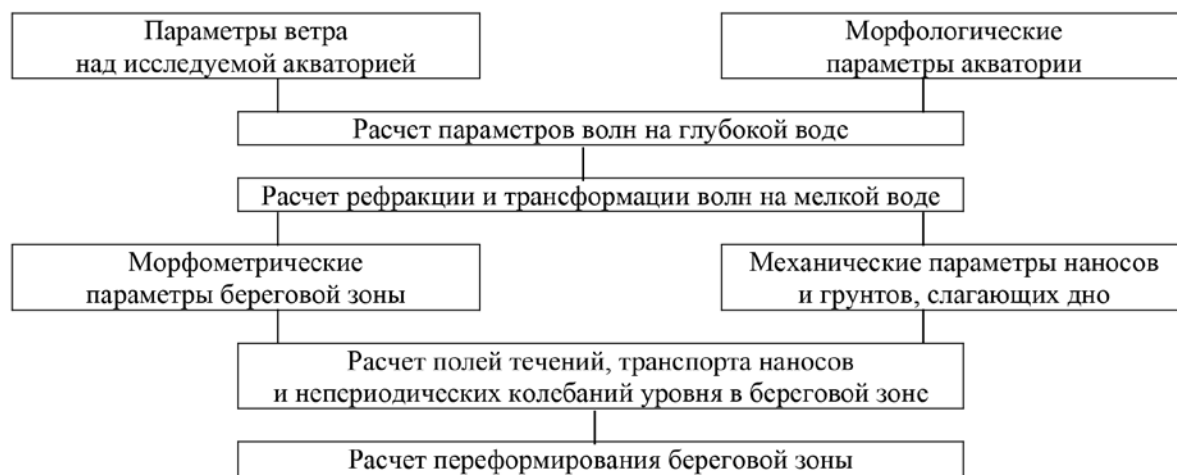


Рис. 2. Схема математической модели переформирования береговой зоны

По функциональному назначению все файлы математической модели можно разделить на четыре группы:

- файлы ввода данных;
- расчётные (основные) файлы;
- буферные файлы для передачи данных;
- файлы вывода данных.

Структура пакета прикладных программ выглядит следующим образом.

Программа ввода данных о ветровых и волновых характеристиках на расчётной акватории. Данная программа позволяет в результате вычислений создать файл данных, являющийся входным для программы расчёта параметров волн на глубокой воде. В результате нахождения этих параметров для заданных исходных данных создаются два файла, один из которых содержит результаты расчётов в виде таблиц выходной формы, а второй — исходные данные для следующей программы, по которой осуществляется расчёт трансформации ветровых волн на береговом откосе. Для данного расчёта необходим файл данных о цифровой модели рельефа дна расчётной области береговой зоны, формируемый отдельной программой ввода данных. Результатом работы программы расчёта трансформации волн на береговом откосе являются файлы, в которых содержатся метки узлов расчётной сетки и рассчитанные параметры волн на линии первого обрушения. Результаты расчётов выдаются в виде таблиц.

Специальная программа, корректирующая данные файла, содержащего метки узлов исходного рельефа дна. Программа используется для ввода данных об имеющихся или проектируемых сооружениях. В результате появляется новый файл, содержащий метки, соответствующие конфигурации гидротехнических или иных сооружений, расположенных в границах расчётной зоны.

Программа, определяющая плановую картину и параметры вдольбереговых течений. Заключительная программа пакета вычисляет расходы взвешенных и влекомых наносов и рассчитывает новые значения глубин на заранее назначенных временных отрезках, т. е. изменение рельефа подводного берегового откоса в течение определённого промежутка времени в результате воздействия гидродинамических процессов [13].

В июле 2015 г. было проведено маршрутное обследование указанных ранее участков береговой зоны южного побережья восточной части Финского залива. В результате были зафиксированы изменения, произошедшие на них за прошедшие 25 лет, а именно на участках 9 – 10 (см. рис. 1) в районе м. Малый наблюдаются обнажённые корни деревьев и валуны на ярко выраженном береговом уступе, видны смытые остатки узкого песчаного пляжа. Его ширина сейчас составляет не более 7 – 10 м. Подмыто бетонное основание существующего берегозащитного сооружения. Превалирующее направление вдольберегового течения — северо-западное. Обнажены глины — моренный слой. Абразия усугубилась, исчез песчаный пляж. Размыв характеризует пятиметровый уступ. Прибрежная зона заросла камышом и осокой. Судя по проплешинам в росте осоки, происходит деградация береговой отмели (рис. 3).



Рис. 3. Фотография участка берега м. Малый

На 50 м восточнее наблюдаются остатки пляжа, видны следы деградации и интенсивное обрушение берегового уступа высотой 2,20 – 2,50 м. Обнажены инженерные коммуникации (кабель подземный), идет оползание дерна. По урезу наблюдается валунная отмостка, ширина пляжа, сложенного преимущественно крупнозернистым песком, составляет примерно 17 – 20 м. Да-

лее в сторону м. Красная горка наблюдается переход берега в бухтовый тип. За счет перемещённых сюда наносов в кутовой части бухты образовался широкий пляж, ширина которого составляет 20 – 30 м. Он сложен песком средней крупности (0,20 – 0,25 мм).

а)



б)



Рис. 4. Фотографии берега на участке 11 – 12:
а — клиф, заросший растительностью; б — абразионный клиф

Участок 11 – 12 (см. рис. 1). Абразионный берег с каменной валунной отмосткой, состоящей из крупных и средних валунов. Ширина пляжа от уступа до уреза составляет 15 – 20 м. Далее к востоку идёт каменная отмостка, наблюдается сужение пляжа со стабилизацией откоса. Продолжением этого участка является высокий абразионный клиф, местами густо заросший растительностью (рис. 4, а, б). Причиной абразии являются различные природные процессы, в том числе дефляционные (выдувание и развеивание ветром рыхлого материала, слагающего берег), а также антропогенные разрушения, вызванные вытаптыванием пляжа и авантюны людьми и т. п. [14].

Участок 12 – 13 (см. рис. 1). Аккумулятивный песчаный берег с устойчивой авантюной, сложенный более крупным песком. Высота авантюны составляет около 3 м. Пляж сложен из крупнозернистого песка красноватого цвета. Вдоль уреза воды идёт береговой вал из мелкой гальки 5 – 12 мм. Пляж шириной 20 – 25 м стабилен за счёт имеющихся здесь дюны и берегового вала (рис. 5, а).

Пирс рыболовецкого колхоза демонтирован, к востоку от него осталось несколько сооружений со следами берегоукрепления (рис. 5, б). Продолжает этот участок высокий абразионный обвально-осыпной берег, сложенный песком с валунами. Имеется также бенч, покрытый ими.

а)



б)



Рис. 5. Фотографии участка 12 – 13: а — пляж с устойчивой авантюной;
б — несколько сооружений пирса рыболовецкого колхоза со следами берегоукрепления
(участок берега 12 – 13)

Участок 13 – 14 (см. рис. 1). По составу песка можно определить, что пополнение пляжа ведётся за счёт основания размываемого откоса. Участки пляжа, закреплённые за домовладениями на побережье, укреплены габионами и поперечными берегозащитными сооружениями из них. Далее в сторону пос. Б. Ижора идёт заанкеренная шпунтовая стенка с засыпкой. Визуальный анализ

снимков Google earth, за 20 августа 2005 г. (рис. 6, а) и 7 июля 2014 г. (рис. 6, б), показывает, что при помощи такого укрепления хозяева участков увеличили их площадь, перекрыв поток наносов на далее расположенном участке пляжа. Далее расположен транзитный участок береговой зоны, представляющий пляж шириной 7 – 10 м. В 600 м восточнее укрепленного берега происходит разрушение основания авантюны, что свидетельствует о его деградации.



Рис. 6. Космические снимки: а — от 20.08.2005 г.; б — от 7.07.2014 г.

Участок 14 (см. рис. 1). На нём заметны следы, идущего здесь процесса абразии, сопровождающегося разрушением коренной дюны (рис. 7, а). Ширина пляжа на отдельных участках составляет 5 – 7 м, замечен выход на поверхность синих моренных глин с валунными включениями (рис. 7, б). Ощущается явная нехватка пляжеобразующего материала.

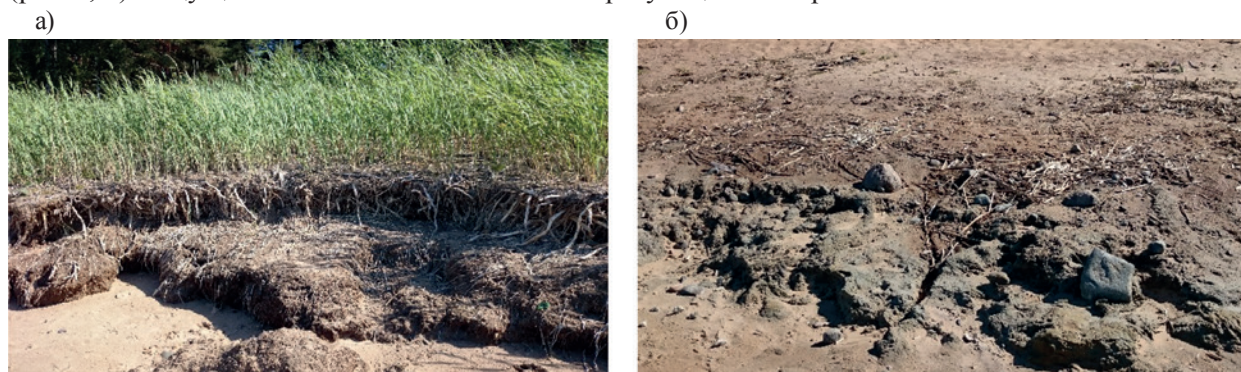


Рис. 7. Фотографии участка 14: а — разрушение коренной дюны; б — выход на поверхность моренных глин с валунными включениями

За счет намывного пляжа система бухты разбита на две части. Поток наносов песка перекрыт на 58 км (рис. 8 – 10).



Рис. 8. Космические снимки от 20.08.2005 г.: а — участок пляжа до намыва; б — участок дороги А-121 (г. Санкт-Петербург — пос. Сосновый Бор)



Рис. 9. Космические снимки от 16.08.2010: а — участок пляжа после намыва; б — участок дороги А-121 (г. Санкт-Петербург — пос. Сосновый Бор)



Рис. 10. Космические снимки от 07.07.2014: а — участок пляжа после намыва; б — участок дороги А-121 (г. Санкт-Петербург — пос. Сосновый Бор)

Управление морфодинамическими процессами в береговой зоне моря можно осуществлять различными методами: *структурным* и *бесструктурным*. При использовании структурного метода управляющее воздействие осуществляется адресно, через специально сформированные или уже имеющиеся элементы структуры объекта. При использовании бесструктурного метода упомянутых ранее элементов структур нет и выполняется безадресное воздействие, приводящее к порождению подобных структур в береговой зоне в ходе существующих там естественных процессов.

Рассмотрим применение ранее изложенного в ситуациях, имеющих место в береговых зонах. Из двух указанных методов чаще применяется структурный. К нему можно отнести создание искусственных подводных отвалов песка в береговой зоне в районе разрушаемого надводного берегового откоса. Суть этого приёма состоит в следующем. В береговой зоне моря, вблизи переформируемого берегового откоса, создаётся необходимый подводный запас песчаного или галечного материала (в зависимости от материала, из которого состоит такой откос или пляж) путём организации концентрированного его отвала земснарядом посредством перекачки материала по пульпопроводу либо с помощью наземных транспортных средств и самоотвозных барж.

Одним из вариантов данного метода является создание на подводном песчаном береговом откосе искусственного песчаного рифа. Примером реализации этого подхода является воссоздание искусственного песчаного пляжа посредством намыва такого сооружения в подводной части береговой зоны на эстонском побережье Нарвского залива в районе пос. Нарва-Йыэсуу в конце 80-х гг. XX в. В результате проведённых мероприятий деградирующий участок побережья Нарвского залива протяжённостью около 7 км был надёжно защищён от разрушения. С помощью управления морфодинамическими процессами на нём был организован искусственный песчаный пляж за счёт

создания условий для развития желаемых естественных процессов в береговой зоне, который существует и ныне почти в неизменном виде.

Причинами достижения положительного результата явилось наличие нескольких факторов. Первым из них следует считать создание искусственного песчаного рифа на подводном береговом откосе. Вторым фактором явилось усиление внешней восточной границы локальной морфодинамической системы в районе пос. Нарва-Йыэсуу в Эстонии, которое было достигнуто путём возведения ограждающего мола в устье р. Нарова. С одной стороны, мол оградил реку от проникновения в неё наносов со стороны эстонского участка береговой зоны, а с другой — явился одним из элементов инженерной защиты восстанавливаемого пляжа. Третий фактор — это намыв на участке деградирующего пляжа, соседствующего с транзитным участком береговой зоны, фрагмента экспериментального пляжа прислонённого типа с искусственной авандюной. Материалом для намыва явился песчаный грунт, взятый с приустьевого песчаного бара. Этот фрагмент пляжа в некотором роде спровоцировал восстановление деградирующего участка. Четвёртым фактором явились оставленные перед авандюной стальные трубы пульпопровода, идущие от фрагмента экспериментального пляжа до ограждающего мола в устье реки, т. е. практически через весь деградирующий (размываемый) участок пляжа, которые послужили основой для воссоздания коренной дюны.

В заключение следует отметить, что изложенные методы управления морфодинамическими процессами в морских береговых зонах были с успехом применены на побережьях Балтийского моря (Финский залив в районе пос. Нарва-Йыэсуу), Каспийского моря (район юго-восточного побережья у м. Челекен). В настоящее время планируется использовать предложенный метод для управления береговыми процессами на юго-восточном побережье Финского залива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белов Д. М. Основные положения теории морфодинамических систем береговой зоны моря / Д. М. Белов. — СПб.: Изд-во РАН. Русское географическое общество, 1994. — 56 с.
2. Белов Д. М. Оценка воздействия на окружающую среду / Д. М. Белов. — СПб.: ФГБОУ ВПО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова», 2013. — 206 с.
3. Белов Д. М. Проблемы морфодинамики береговой зоны моря и водоемов / Д. М. Белов // Водные пути и русловые процессы: сб. науч. тр. — СПб.: ФБОУ ВПО СПбГУВК, 2012. — С. 204–209.
4. Дорошенко Н. И. Повышение эффективности седиментационной очистки ливневых сточных вод от железа / Н. И. Дорошенко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 3 (31). — С. 69–74.
5. Рычагов Г. И. Общая геоморфология / Г. И. Рычагов. — М.: Изд-во МГУ, 2006. — 416 с.
6. Звонкова Т. В. Прикладная геоморфология / Т. В. Звонкова. — Рипол Классик, 2013.
7. Бредис О. А. Геоэкологическая оценка побережья Финского залива в пределах Курортного района Санкт-Петербурга / О. А. Бредис // Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. — 2012. — № 147. — С. 117–124.
8. Бредис О. А. Морфодинамическое районирование и типизация берегов восточной части Финского залива в пределах Курортного района Санкт-Петербурга / О. А. Бредис // Геоэкологические проблемы современности: Доклады 3-й Международной конференции. — Владимир: Изд-во ВГГУ, 2010. — С. 51–53.
9. Демьяненко С. Г. Проблемы планирования развития морской береговой зоны / С. Г. Демьяненко, В. И. Золотов // Экономика: реалии времени. — 2012. — № 1 (2). — С. 107–113.
10. Сухинов А. И. Математическое моделирование транспорта наносов в прибрежных водных системах на многопроцессорной вычислительной системе / А. И. Сухинов, А. Е. Чистяков, Е. А. Проценко // Вычислительные методы и программирование. — 2014. — Т. 15. — № 4. — С. 610–620.
11. Заковоротнова Е. Е. Описание некоторых параметров многомерной математической модели транспорта наносов в прибрежной зоне моря / Е. Е. Заковоротнова // Известия ЮФУ. Технические науки. — 2010. — № 6 (107). — С. 258–259.

12. Выхованец Г. В. Динамическая устойчивость размеров песчаных пляжей в береговой зоне Черного моря / Г. В. Выхованец, А. Б. Муркалов, А. А. Стоян // Вісник Одеського Національного Університету. Географічні Та Геологічні Науки. — 2014. — Т. 19. — № 1 (20). — С. 53–68.

13. Богданов Н. А. Экохимическая геоморфология — новое направление в науке о рельефе / Н. А. Богданов // Астраханский вестник экологического образования. — 2015. — № 2 (32). — С. 36–53.

14. Голубев Д. А. Экологическая уязвимость береговой зоны восточной части Финского залива по отношению к механическим воздействиям от подводных горно-технических работ / Д. А. Голубев, В. Б. Погребов, М. Б. Шилин // Инженерные изыскания. — 2010. — № 9. — С. 34–43.

THE BASIC METHODOLOGY MORPHODYNAMICAL OF THE COASTAL ZONE MANAGEMENT

The article presents the theoretical bases of management of objects of inanimate nature, including Bere-traction zone, based on the definition of the main objectives to be achieved as a result of a designated process. Most often, one of the main objectives is to restore equilibrium morphodynamic system, which is achieved by adjusting the control parameters describing its existing condition. Give a definition of commonly used terms in this article. The main provisions of the mathematical modeling of the dynamics of the coastal zone of the sea, is a diagram of a model and indicates various areas of coastal zones of the seas, on which the mathematical model apply. Showing examples of its successful use to control the morphodynamic systems in the coastal zone of the Gulf of Finland near the village of Narva-Jõesuu (Estonia) Republic, including the use of artificial hydraulic structure - the sand underwater reef to feed the restored beach and foredune ridge formation with metal pipes of large diameter.

Keywords: the coastal zone of the sea, management processes and objects, reformation, morphodynamics.

REFERENCES

1. Belov, D. M. *Osnovnye polozheniya teorii morfodinamicheskikh sistem beregovoy zony morja*. SPb.: Izd-vo RAN. Russkoe geograficheskoe obshchestvo, 1994.

2. Belov, D. M. *Ocenka vozdejstviya na okruzhajushhuyu sredu*. SPb.: FGBOU VPO «GUMRF im. admirala S. O. Makarova», 2013.

3. Belov, D. M. “Problemy morfodinamiki beregovoy zony morja i vodoemov.” *Vodnye puti i usloviya processy: sbornik nauchnykh trudov*. SPb.: FBOU VPO SPbGUVK, 2012: 204–209

4. Doroshenko, N. I. “Improving the efficiency of sedimentation rainwater treatment of iron.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 3(31) (2015): 69–74.

5. Rychagov, G. I. *Obshhaya geomorfologiya*. M.: Izd-vo MGU, 2006.

6. Zvonkova, T. V. *Prikladnaya geomorfologiya*. Ripol Klassik, 2013

7. Bredis, Olga A. “Geocological Assessment of the Gulf of Finland Coast Within the Bounds of Kurortnyi District of Saint-Petersburg.” *Izvestia: Herzen University Journal of Humanities & Science* 147 (2012): 117–124.

8. Bredis, O. A. “Morfodinamicheskoe rajonirovanie i tipizacija beregov vostochnoj chasti Finskogo zaliva v predelakh Kurortnogo rajona Sankt-Peterburga.” *Gejekologicheskie problemy sovremennosti: Doklady 3-j Mezhdunarodnoj konferencii*. Vladimir: Izd-vo VGGU, 2010: 51–53

9. Demianenko, Svitlana G., and Viktor I. Zolotov. “Problems of planning of sea coastal zone development.” *Economy: the realities of time* 1(2) (2012): 107–113.

10. Sukhinov, A. I., A. E. Chistyakov, and E. A. Protsenko. “Sediment transport mathematical modeling in a coastal zone using multiprocessor computing systems.” *Numerical Methods and Programming* 15.4 (2014): 610–620.

11. Zakovorotnova, Ekaterina Yevgenyevna. “Description of some parameters of multidimensional's mathematical model of sediment transport coastal seas.” *Izvestiya SFedU. Engineering sciences* 6(107) (2010): 258–259.

12. Vykhovanets, G. V., A. B. Murkalov, and A. A. Stoyan. “Dynamical steadiness of sandy beaches sizes in the black sea coastal zone.” *Odesa National University Herald. Geography and Geology* 19.1 (2014): 53–68.

13. Bogdanov, Nikolay Aleksandrovich. “Ecochemical geomorphology — the new direction of relief science.” *Astrahanskij vestnik jekologicheskogo obrazovanija* 2(32) (2015): 36–53.

14. Golubev, D. A., V. B. Pogrebov, and M. B. Shilin. “Environmental vulnerability of the coastal zone of the eastern Gulf of Finland to mechanical effects of subaqueous mining engineering works.” *The Engineering Surveys* 9 (2010): 34–43.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Белов Даниил Михайлович —
доктор географических наук, профессор,
заслуженный эколог РФ.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С. О. Макарова»
olt_prts@inbox.ru
Дорошенко Надежда Ивановна —
аспирант.
Научный руководитель:
Белов Даниил Михайлович.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С. О. Макарова»
132620@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Belov Daniil Mihajlovich —
Dr. of Geographical Sciences, professor,
honored ecologist of the Russian Federation.
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
olt_prts@inbox.ru
Doroshenko Nadezhda Ivanovna —
postgraduate.
Supervisor:
Belov Daniil Mihajlovich.
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
132620@mail.ru