

**ЭКЗОГЕННАЯ МОДЕЛИРОВКА БЕРЕГОВ  
ПОЙМЕННО-ТЕРРАСОВОГО КОМПЛЕКСА  
В УСЛОВИЯХ ВОДОХРАНИЛИЩ  
(НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА р. КАМЫ)**

*Пермский государственный национальный исследовательский университет;  
nazarov@psu.ru*

Изучение геодинамики берегов и ложа камских водохранилищ в последние годы проходит под знаком расширения и детализации исследований. Научный задел, созданный исследователями в 50–70-е гг. прошлого столетия, сегодня требует пополнения и обновления с учетом современного состояния и возможностей науки.

К настоящему моменту по уровню изученности темпов и направленности современных береговых и глубоководных геолого-геоморфологических процессов камские водохранилища заметно отличаются от многих крупных равнинных водоемов России и смежных государств. С конца 1990-х гг. опубликован целый ряд работ, посвященных детальному анализу абразии [1–3], оползнеобразования [4, 5], овражной эрозии [5], накопления илов [6–8], формирования и аккумуляции наносов [9–11], развития берегового карста [12, 13]. Значительно меньше внимания уделялось освещению деятельности других (“второстепенных”) геоморфологических процессов, вносящих, тем не менее, значительную долю в интегральный процесс переформирования берегов. Многие из этих процессов, действуя в качестве самостоятельного агента денудации или аккумуляции, вносили и продолжают вносить весомый вклад в преобразование берегов, на первый взгляд, не относящихся к категории проблемных.

Картирование показало, что более 65% длины периметра береговой линии на Камском и около 47% на Воткинском водохранилищах представлено низкими песчано-глинистыми или торфянистыми берегами. Пологонаклонные, часто подтопленные и заболоченные побережья поймы, I и II нпт р. Камы или впадающих в водохранилища рек не испытывают абразионного воздействия – не обваливаются, не осыпаются, не подвергаются оползнеобразованию, не расчлняются оврагами. Морфологические и морфометрические изменения рельефа таких берегов для наблюдателя происходят незаметно по сравнению с берегами, где абразия и оползнеобразование служат главными причинами разрушения.

Как было установлено в процессе детальных инструментальных исследований, проведенных на камских водоемах в последние годы [5], основными процессами, осуществляющими моделировку низких берегов, являются гидратационное выветривание, аккумуляция минерального или органического вещества и заболачивание. Сравнительное дешифрирование аэрофотоснимков разных лет показало, что береговая линия на таких участках по истечении нескольких десятилетий обычно оказывается смещенной либо в сторону акватории, либо суши.

Используемые в ранних работах [14] объяснения движущих сил морфолитогенеза берегов, не имеющих прямых признаков переработки (пологий берег без следов разрушения и аккумуляции с наличием почвы и растительности), сегодня не могут считаться достаточными для понимания перспектив дальнейшего развития подобных береговых комплексов.

Физико-химическое (гидратационное) выветривание является первым этапом миграции вещества (по схеме Е.В. Шанцера [15]), мобилизирующим его к переносу преимущественно по вертикали без существенного горизонтального смещения [16]. Действуя



*Рис. 1.* Снижение высоты берега на 80–90 см фиксируется по оголившемуся корневищу сосны (Воткинское водохранилище, 2008 г.). Здесь и далее фото автора

ние. Подготовка пород к денудации этим процессом надводной части берегового склона уже получила должное освещение в литературе [17]. Разрушение же поверхностей прибрежных отмелей в результате физического выветривания остается практически не исследованным [18]. В то же время они находятся в осушенном состоянии как раз в наиболее активные в плане проявления этого процесса сезоны года: ранняя весна и поздняя осень – периоды неоднократного перехода температуры воздуха через 0 °С. В результате горные породы прибрежной отмели также подвергаются разрушению, которое начинается с образования трещин. Наиболее рельефно данный процесс протекает в плотных малопластичных аллювиальных глинах и суглинках. На поверхностях сложенных ими отмелей в результате морозного выветривания образуются глубокие (до 40 см) трещины, которые, постепенно расширяясь под действием дефляции, а впоследствии и прибойных потоков, приобретают самые причудливые формы.

одновременно с физическим выветриванием и фитогенным разрушением, гидратационное выветривание содействует удалению части минерального и органического вещества даже без явного вмешательства агентов денудации. В результате подтопления и периодического затопления низких берегов при сохранении сплошности почвенно-растительного покрова происходит “усадка” поверхности прибрежной полосы и, как следствие, направленное смещение линии берега в сторону суши. Доказательством геоморфологической значимости этого процесса являются многочисленные примеры оголившихся корней деревьев и пней, местоположение корневой шейки которых фиксирует уровень поверхности суши до создания водоема (рис. 1).

Одним из процессов, не изученных с той степенью детальности, которой он заслуживает в соответствии с вносимым им вкладом в переформирование прибрежных отмелей, является физическое выветривание.

Как уже было отмечено выше, значительная часть побережий камских водохранилищ – низкие, пологие и сложены песчано-глинистыми осадками или торфом. Весьма небольшое превышение суши над уровнем водохранилища привело к масштабному заболачиванию прибрежных территорий, суммарная площадь таких земель на побережьях только Камского водохранилища достигает 600 км<sup>2</sup>, причем 80% из них приходится на его левобережье. На правом берегу заболачиванию



*Рис. 2.* Причленившийся к берегу торфяной плавучий остров, остановил потоки вдольбереговых наносов и стимулировал развитие широкого пляжа и береговой террасы

подвержены преимущественно берега крупных заливов. Поскольку большинство подобных территорий покрыто лесными массивами, то здесь наблюдается угнетение и постепенное отмирание древесной растительности, на смену которой приходит кустарниковая и травянистая. Также активно протекает торфообразование.

В результате переформирования побережий, сложенных торфом, которое, как правило, включает всплывание торфяников, отрыв их от берега, образование плавающих островов и их последующее разрушение [19, 20], возникает сложная (изрезанная) конфигурация береговой линии. При значительной зимней сработке уровня возможно также смерзание льда с торфом, что в период быстрого весеннего наполнения водохранилища приводит к отрыву торфяников и, следовательно, интенсификации процесса.

Участки, наиболее благоприятные для всплывания торфяников, находятся в северной части левобережья Камского водохранилища, а также в устьях рек Обвы, Косьвы и Иньвы. Однако по истечении полувека после создания водохранилища случаи всплывания или отрыва от берегов торфяных островов стали относительно редкими.

Кроме локального воздействия на морфогенез заболоченных берегов, процесс отрыва торфяных островов может оказывать и побочный геоморфологический эффект – моделировку берегов. Крупный плавающий остров, соединившись с берегом, может коренным образом изменить скорость и направленность экзодинамического развития последнего. Например, подобный остров, закрепившийся у пересыпи залива в с. Висим (левобережье в наиболее широкой части Камского водохранилища) в 2009 г., остановил потоки вдольбереговых наносов и стимулировал развитие широкого пляжа и береговой террасы. Заполнение наносами входящего угла привело к ослаблению абразионного разрушения берега на южном участке и прекращению размыва на северном (рис. 2).

Суффозия – один из процессов, который с трудом поддается количественному учету, хотя и играет большую роль в формировании современного нано- и микрорельефа прибрежной зоны водохранилищ. Расположение суффозионных просадок и других отрицательных форм берегового рельефа определяется геологическими и гидрогеологическими условиями прибрежной зоны. На оползневых телах суффозионные формы располагаются преимущественно в районе тылового шва запрокинутого блока. В других случаях местоположение просадок определяется локальной трещинова-



Рис. 3. Тоннель в суглинках (район с. Усть-Гаревая, Камское водохранилище. 2004 г.)

чиями от абразионных ниш являются округлость (эллипсовидность) выходов тоннелей и их узость по отношению к длине “трубы”. Диаметр тоннелей в устьевой части может достигать 1.5 м при длине 3–4 м и более (рис. 3).

Образование тоннелей обычно происходит в периоды массового поступления атмосферных или грунтовых вод в открытые или закрытые трещины берегового уступа. В случаях выхода устьев этих форм на уровень уреза воды обработку стенок тоннелей совершают прибойные потоки и волны.

Наивысшая плотность эрозионных тоннелей (10–15 шт. на 100 м береговой линии) обычно фиксируется у абразионно-обвальных и абразионно-оползневых типов берегов, представленных делювиальными суглинками, а также в уступах цокольных террас, верхняя часть которых сложена песками. В последнем случае устья тоннелей располагаются на линии контакта рыхлых и более плотных (водонепроницаемых)

тостью горных пород. Очень часто просадки (чаще в форме воронки) тяготеют к бровкам речных террас, поскольку связаны с трещинами разгрузки.

Совершенно неизученной с геоморфологических позиций, но служащей одним из основных катализаторов подготовки берегового уступа к очередному циклу разрушений является тоннельная эрозия – процесс расширения и углубления трещин талыми, дождевыми и подземными водами [21–25].

На берегах камских водоемов тоннельная эрозия развивается преимущественно внутри блоков отседания, в обвальных и оползневых телах, прислоненных к береговому уступу и поэтому какое-то время защищающих его от непосредственного воздействия волновых процессов. Создаваемые тоннельной эрозией формы микрорельефа напоминают абразионные ниши и по этой причине довольно часто исследователями береговых процессов принимаются за таковые. Основными их морфологическими отличиями от абразионных ниш являются округлость (эллипсовидность) выходов тоннелей и их узость по отношению к длине “трубы”. Диаметр тоннелей в устьевой части может достигать 1.5 м при длине 3–4 м и более (рис. 3).

отложений. В местах концентрации таких образований часто отмечаются самые высокие скорости переформирования абразионного уступа.

Эоловые (дефляционно-аккумулятивные) процессы на берегах камских водохранилищ обычно развиваются лишь в периоды сухой погоды и преимущественно в весенний период, когда скорости ветра часто достигают 8–10 м/с и более.

Наиболее “продуктивно” деятельность ветра проявляется в пределах II и, в меньшей степени, III нпт р. Камы, сложенных в основном мелко- и среднезернистыми песками. При фронтальном расположении берегового уступа к направлению ветра песок с его склона сначала забрасывается на горизонтальную поверхность террасы и далее, в результате резкого усиления скорости ветра (на 30–40%), разносится на десятки метров от бровки берега (рис. 4). Слой песка, удаляемый дефляцией с поверхности склона при сухой ветреной погоде, может достигать величины 5–7 см за период наблюдений 3–5 суток.

На поверхности самой террасы на удалении от бровки уступа до 30 м высота микроформ или плащеобразного залегания эолового материала за весенне-летний сезон в отдельные годы достигает 15–25 см, но обычно составляет 3–5 см. Следы переотложенного ветром песка часто фиксируются и на расстоянии до 120–150 м от бровки. Прогнодняя травянистая растительность в прибрежной зоне в отдельные годы местами бывает почти полностью погребена под эоловыми отложениями.

На периодически обнажающихся ранней весной прибрежных отмелях перевевание песков и алевритов – обычный процесс их моделировки в условиях осушки. При этом мощность накопившегося материала на локальных участках в отдельные годы составляла 25–40 см, что сопоставимо с темпами аккумуляции наносов в условиях водной обстановки.

Таким образом, представленные в статье результаты изучения экзодинамической активности и направленности казалось бы второстепенных и нетрадиционных в плане освещения морфолитогенеза береговой зоны процессов показывают, что геоморфологический эффект их воздействия на берега достаточно велик и требует учета при проведении прогнозных расчетов. Кроме того, эти “второстепенные” процессы не только служат катализатором активности ведущих основных геодинамических процессов, но и почти для половины берегов камских водохранилищ являются практически единственной причиной направленных изменений рельефа.



Рис. 4. Сдуваемый с поверхности берегового уступа песок заполняет неровности и трещины прибрежной зоны (район с. Нижний Лух, Камское водохранилище, 2008 г.)

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Назаров Н.Н. Экзогенные геологические процессы как источник формирования донных отложений Воткинского водохранилища // Гидротехническое строительство. 2002. № 10. С. 50–53.

2. Назаров Н.Н. Географическое изучение берегов и акваторий камских водохранилищ // Географический вестник. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2006. № 2. С. 18–36.
3. Назаров Н.Н. Переработка берегов равнинных водохранилищ России на современной стадии развития (конец XX в. – начало XXI в.) // География и природные ресурсы. 2006. № 4. С. 12–19.
4. Назаров Н.Н., Калинин В.Г., Пьянков С.В. и др. Изучение оползневой деятельности на берегах Камского водохранилища с применением ГИС-технологий // Геоморфология. 2004. № 4. С. 55–62.
5. Назаров Н.Н. Геодинамика побережий водохранилищ Пермского края. Пермь: Полиграф-комплект, 2008. 151 с.
6. Назаров Н.Н., Меньшикова Е.А. Современное осадкоформирование в глубоководной зоне камских водохранилищ // Географический вестник. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2008. № 2. С. 21–25.
7. Назаров Н.Н., Сунцов А.В. Геохимические горизонты и микроэлементный состав донных отложений Воткинского водохранилища // Географический вестник. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2008. № 2. С. 26–36.
8. Назаров Н.Н., Сунцов А.В. Морфолитогенез приплотинного участка Воткинского водохранилища // Геоморфология. 2008. № 4. С. 91–101.
9. Назаров Н.Н., Анисимов В.М., Калинин В.Г. и др. Динамика наносов на прибрежных отмелях камских водохранилищ // Перенос наносов в эрозионно-русловых системах. М.: Изд-во МГУ, 2004. С. 140–143.
10. Назаров Н.Н. Формирование аквальных геосистем Воткинского водохранилища // Изв. РГО. 2005. Т. 137. Вып. 3. С. 52–61.
11. Назаров Н.Н., Тюняткин Д.Г., Черепанов А.В. Некоторые результаты изучения формирования и транзита наносов в прибрежной зоне Камского водохранилища // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2007. Т. 2. С. 163–167.
12. Назаров Н.Н. Особенности накопления и свойства иловых отложений на участках распространения гипсовых берегов Камского водохранилища // Географический вестник. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2008. № 1. С. 77–87.
13. Назаров Н.Н., Фролова И.В. Особенности морфолитогенеза карстовых берегов Камского водохранилища // Геоморфология. 2009 № 4. С. 92–99.
14. Печеркин И.А., Печеркин А.И., Каченов В.Н. Теоретические основы прогнозирования экзогенных геологических процессов на берегах водохранилищ. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1980. 85 с.
15. Шанцер Е.В. Очерки учения о генетических типах континентальных осадочных образований. М.: Наука, 1966. 112 с.
16. Выркин В.Б. Современное экзогенное рельефообразование котловин байкальского типа: Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. Иркутск: ИГ СО РАН, 1994. 44 с.
17. Печеркин И.А. Геодинамика побережий камских водохранилищ. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1969. Т. 2. 308 с.
18. Назаров Н.Н. Экзогенный морфолитогенез зоны сезонной осушки камских водохранилищ // Геоморфология. 2010. № 4. С. 72–80.
19. Матарзин Ю.М. Всплывание торфяников и плавающие острова на Камском водохранилище // География Пермской области. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1966. Вып. 3. С. 103–117.
20. Матарзин Ю.М. Гидрология водохранилищ. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2003. 296 с.
21. Батыр В.В. К вопросу о подкапывающей (суффозионной) деятельности талых и ливневых вод на территории Среднего Поволжья // Уч. зап. Казанск. ун-та. 1953. Т. 113. Кн. 2. С. 65–76.
22. Щукин И.С. Общая геоморфология. М.: Изд-во МГУ, 1960. Т. 1. 615 с.
23. Löffler E. Piping and pseudokarst features in the tropical lowlands of New Guinea // Erdkunde. 1974. № 1. P. 13–18.
24. Parker G. Piping, a geomorphic agent in landform development of the drylands // Publ. internet. hydrol. scient. 1964. № 65. P. 103–113.
25. Дедков А.П., Мозжерин В.И., Ступишин А.В., Трофимов А.М. Климатическая геоморфология денудационных равнин. Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 1977. 224 с.

Поступила в редакцию 10.05.2012

# EXOGENOUS TRANSFORMATION OF THE WATER RESERVOIRS' COASTS AT FLOODPLAIN-TERRACE COMPLEX (THE KAMA RIVER BASIN AS AN EXAMPLE)

N.N. NAZAROV

## Summary

On the coasts of water basins floodplain-terrace complex there are many exogenous processes of apparent minor significance which however have obvious impact on the coastal landforms. For almost half of the shore-line they are the single cause of the shore morphology changes. For instance on the surface of the shallows the deep (up to 40 cm) cracks appear, which are permanently widening due to inflation. The peat island had been anchored near the bay at the Visim village (the left bank of the widest part of the Kama water reservoir) and blocked the drift of deposits which caused the widening of the beach and terrace appearance. The tube erosion in the detached and sunk blocks, landslides and earth-falls leaned against the cliff. Diameter of the tubes reaches 1.5 m at the mouth, their length – more then 4 m. The most density of the erosion tubes (10–15 / 100 m) occurs at abrasion-earth-fall and abrasion-landslide types of the bank consisting of deluvial loam. Deflation may remove from the slope 5–7 cm of sand under the conditions of dry and windy weather during 3–5 days.

УДК 551.4.08:551.435.36(261.24)

© 2014 г. З. ПРУШАК\*, Р. ОСТРОВСКИЙ\*, А.Н. БАБАКОВ\*\*, Б.В. ЧУБАРЕНКО\*\*

## ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БУН В КАЧЕСТВЕ БЕРЕГОЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

\* *Institute of Hydro-Engineering PAS in Gdańsk; zbig@ibwpan.gda.pl*

\*\* *Атлантическое отделение Ин-та океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Калининград; babakov\_temp@mail.ru*

## Введение

Практика защиты берегов от размыва насчитывает несколько столетий. Первоначально создавались разнообразные продольные берегозащитные сооружения пассивного типа – волноотбойные свайные стенки, дамбы, каменные бермы, хворостяные заборы. Лишь в XVII в. в Англии были изобретены поперечные берегозащитные сооружения активного типа – буны, прообразом которым послужили обычные портовые молы [1].

Со временем конструкции бун становились все более разнообразными и эффективными, учитывающими особенности морфологии берегов и синоптических процессов. Они получили широкое распространение в Голландии, Франции, Дании и Германии, а затем и во всем мире. На абразионных берегах Дании построено примерно 200 бун, Германии – 900 [2], Польши – порядка 600 [3]. В России первые буны появились в 1883 г. в Одессе у Большого Фонтана, затем в 1908 г. на черноморском побережье Кавказа в Гаграх [1]. На песчаных берегах восточной Пруссии первые буны были сооружены в 1874 г. в корневой части Куршской косы, а их массовое строительство пришлось на начало XX в. [4].

В настоящий момент для открытых песчаных берегов южной и юго-восточной Балтики буны являются традиционными берегозащитными сооружениями, которые создавались в основном до 40-х гг. XX в. в виде групповых конструкций в пределах береговых сегментов, подвергающихся активной абразии [4–15].

Обследования берегов, проведенные авторами в 2008–2012 гг., показали, что в Германии и Польше буны находятся в хорошем состоянии благодаря регулярному ремонту