

деформаций перекаатов. Задача сводится к выделению основного на данном отрезке русла типа гряд, определению благоприятных для их развития гидродинамических характеристик потока и сравнению последних с гидродинамическими условиями на конкретном перекаате в различные фазы водности. Такой подход может оказаться перспективным для разработки надежной методики прогноза сезонных деформаций на перекаатах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лохтин В. М. О механизме речного русла. СПб, 1887. 78 с.
2. Россинский К. И., Кузьмин И. А. Речное русло//Гидрологические основы речной гидротехники. М.: АН СССР, 1950. С. 85—87.
3. Шамоу Г. И. Речные наносы. Л.: Гидрометеоздат, 1959. 380 с.
4. Кустов Л. И. Введение в механику речного русла и методика планирования транзитного землечерпания//Тр. ЦНИИРФ. Вып. 1. Л.: Речиздат, 1940. С. 34—36.
5. Маккавеев Н. И., Советов В. С. Трассирование землечерпательных прорезей на перекаатах равнинных рек Европейской части СССР//Тр. ЦНИИРФ. Вып. 3. Л.: Речиздат, 1940. 11 с.
6. Турькин Л. А., Чалов Р. С. Об оценке сезонных деформаций перекаатов на реках с паводочным режимом//Метеорология и гидрология. 1985. № 8. С. 77—81.
7. Гришанин К. В. Сезонные деформации перекаатов//Тр. 4 Всесоюз. гидрол. съезда. Т. 10. М.: Гидрометеоздат, 1976. С. 13—21.
8. Знаменская Н. С. Грядовое движение наносов. Л.: Гидрометеоздат, 1968. 188 с.

Московский государственный университет  
Географический факультет

Поступила в редакцию  
27.12.91

#### RIDGE RELIEF OF THE RIVER CHANNEL AND ITS IMPACT ON SEASONAL DEFORMATIONS OF SHALLOWS

Z. A. TURYSKIN

Summary

Seasonal deformations of the shallows in the Chulym channel within the segment under study depend on the regime of movement of sandy and sandy-gravel ridges; the height of the ridges — 0,2 to 0,4 m — controls amplitudes of the shallows' crest fluctuations. Ridges of that order exist under velocities (averaged over the stream cross-section) from 0,4 m/s (the 1st threshold velocity) to 0,6 m/s (the 2nd threshold velocity).

The shallows are subdivided into three groups on the basis of average flow velocity (at different discharges) as related to the 2nd threshold velocity; the groups differ in the character of seasonal deformations of the channel.

УДК 551.435.36

© 1993 г. В. М. ШИРОКОВ

#### ПРОБЛЕМЫ И ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ БЕРЕГОВ МАЛЫХ РАВНИННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ

Практика многолетних комплексных стационарных исследований берегов малых водохранилищ в разных регионах (в Прибалтике, Белоруссии, Украине) позволила выявить наиболее общие особенности их развития в равнинных условиях. Было установлено, что формирование берегов происходит в тесной взаимосвязи с внутриводоемными процессами, эволюцией побережья и чаши водохранилищ.

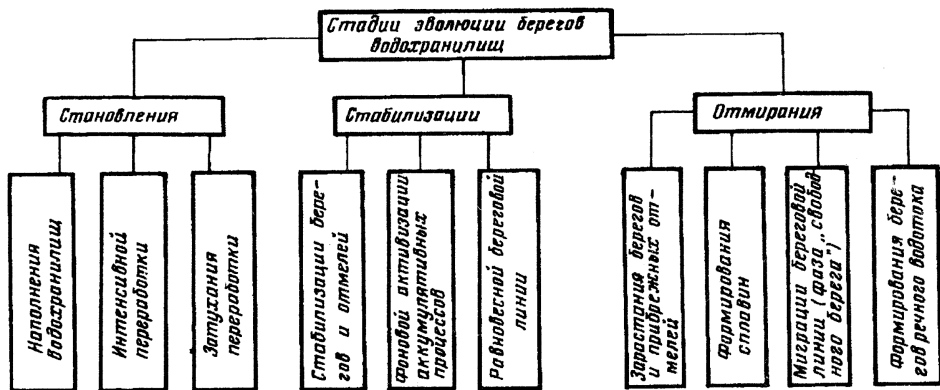


Рис. 1

Рис. 1. Стадии и фазы развития берегов малых водохранилищ

Рис. 2. Зависимость величины отступления бровки склонов малых водохранилищ ( $S$ ) от сроков их эксплуатации и стадии формирования берегов ( $T$ )

I — стадия становления берегов; II — стадия стабилизации берегов

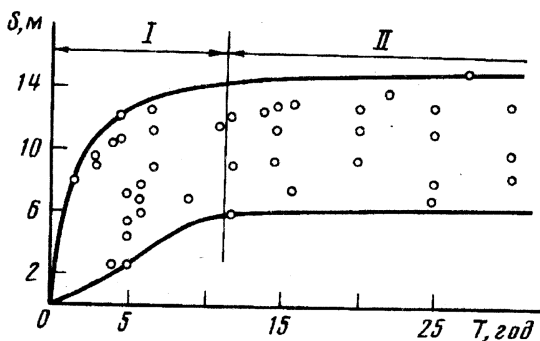


Рис. 2

При проектировании и строительстве водохранилищ возникает необходимость оценить их воздействие на окружающую природную среду. Эта оценка включает и процессы формирования новых берегов [1]. В последние годы такие работы приобретают массовый характер, так как создание водохранилищ идет все более нарастающими темпами. Естественно, что интенсивное хозяйственное освоение берегов малых водохранилищ вызывает необходимость изучения особенностей их развития в самых разнообразных природных условиях, начиная с севера и кончая пустынными районами. Для каждой природно-климатической зоны процесс переработки берегов водохранилищ имеет свои отличия и разную продолжительность сроков их интенсивного формирования. Были выявлены характерные качественные и количественные особенности развития для всех основных генетических типов берегов и их преобладающее распространение в водохранилищах каждой природно-климатической зоны.

Часто на малых равнинных водохранилищах встречаются берега, формирующиеся в условиях очень слабого волнового воздействия. Наличие таких динамически пассивных участков нередко бывает приурочено к верховьям малых водохранилищ и их заливам. В этом случае берега, минуя абразионный тип развития, являются нейтральными и постепенно зарастают, а затем и стабилизируются [2].

Процесс переработки берегов водохранилищ можно отнести к резким экзогенным нарушениям. В ходе развития этого процесса выделяют два основных тренда — возмущения и релаксации. Согласно А. П. Дедкову и В. И. Мозжерину [3], возмущающий тренд характеризуется нарастанием интенсивности процесса ( $E$ ) во времени ( $T$ ) общей зависимости  $E = T^n$ , где  $n \geq 1$ , а релаксация характеризуется постепенным затуханием процесса.

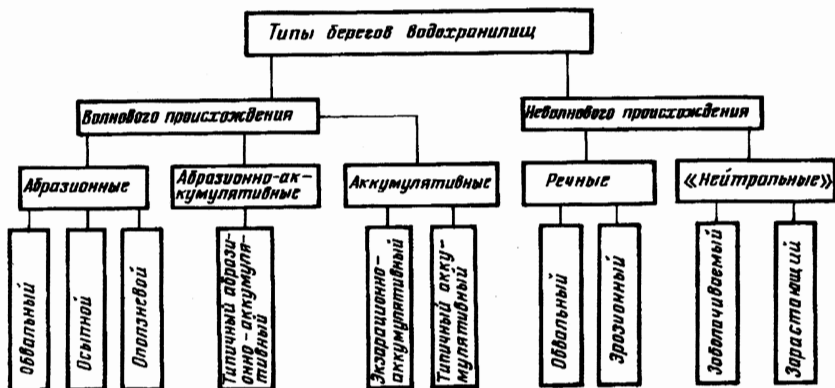


Рис. 3

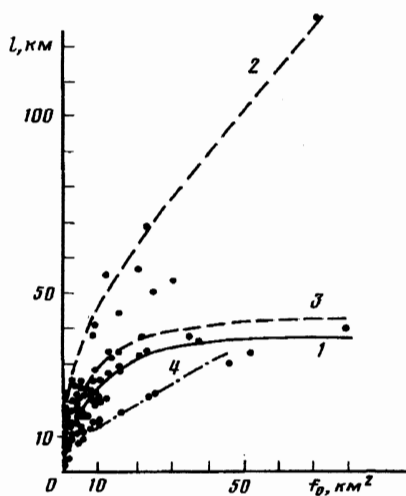


Рис. 4

Рис. 3. Генетическая классификация берегов малых водохранилищ

Рис. 4. Зависимость длины береговой линии ( $L$ ) от площади водоемов ( $F_0$ )

1 — озера, 2 — русловые водохранилища, 3 — водохранилища с оградительными дамбами, 4 — водохранилища с искусственными берегами (наливные)

В процессе формирования берегов водохранилищ мы выделили три последовательные стадии их эволюции во времени: становления, стабилизации и отмирания, каждая из которых характеризуется своими особенностями (рис. 1).

Опыт длительной эксплуатации малых водохранилищ показал, что направленность развития берегов закладывается в стадию становления и может быть очень разнообразной в зависимости от различного сочетания пород, слагающих берега, степени проявления ветрового волнения, характера преобладающих экзогенных процессов, морфологических особенностей склонов и гидродинамических условий в прибрежной зоне [4, 5]. Все эти факторы и условия переработки берегов являются информационной базой, которая закладывается в основу расчета устойчивости склонов [6].

Наиболее полное проявление процесса формирования берегов в стадию становления было прослежено на малых водохранилищах, расположенных в равнинных условиях. На эту стадию и разрабатываются прогнозы развития береговых склонов.

Стадия стабилизации относится к релаксации и характеризуется повсеместным ослаблением берегового процесса и выработкой профиля относительного равновесия. В это время возникают условия для закрепления склонов растительностью и заканчивается отработка рельефа прибрежной зоны. В стадию стабилизации

интенсивный процесс переработки берегов возможен только в случаях, когда при эксплуатации водохранилищ возникают условия кратковременной форсировки уровня воды над НПУ, но определяющего значения в развитии береговой зоны они не имеют. Благодаря преобладающему развитию в это время в прибрежной зоне главным образом аккумулятивных процессов происходит постепенное выравнивание берегов в плане, создаются плавные береговые дуги, формируются подводные валы и аккумулятивные косы [7]. Эти особенности развития береговой зоны в стадиях становления и стабилизации были прослежены достаточно подробно на ряде малых водохранилищ с длительным сроком своего существования (рис. 2).

В стадию отмирания все береговые процессы полностью прекращаются, склоны переходят в устойчивое состояние, идет их интенсивное зарастание древесной и кустарниковой растительностью, в прибрежной зоне формируются сплавины.

Такое последовательное развитие береговых процессов обусловлено постепенным ростом прибрежных отмелей, снижением гидродинамической активности в прибрежной зоне водоемов, общей тенденцией к отработке окончательной береговой линии в плане, медленным занесением осадками и зарастанием прибрежной зоны. В условиях длительного взаимодействия малых водохранилищ с окружающей средой идет постепенная смена преобладающих типов берегов для каждой последующей стадии их динамического развития.

Для малых водохранилищ в равнинных условиях характерны две основные группы берегов: волнового и неволнового происхождения (рис. 3), обусловленные гидродинамическими и морфометрическими особенностями этих водоемов, преобладающими геоморфологическими процессами, протекающими в таких несвязных и малосвязных грунтах, как пески, супеси и суглинки. Практическое значение в процессе хозяйственного освоения имеют берега волнового происхождения, которые интенсивно перерабатываются и являются предметом прогноза. Наиболее распространенными абразионными типами берегов являются обвальные, осыпные и оползневые. Аккумулятивные процессы в стадию становления выражены значительно слабее и представлены в основном абразионно-аккумулятивными и аккумулятивными типами. Роль последних усиливается по мере старения водохранилища.

Берега неволнового происхождения на малых водохранилищах распространены достаточно широко и часто достигают 50—60% от общей их протяженности. Это пологие берега, нейтральные по отношению к абразионному процессу, формируются в условиях почти полного отсутствия воздействия волновой деятельности, так как ее энергия теряется на затопленных пологих склонах прибрежной зоны, не достигая берега. Наличие таких зон динамически пассивных по отношению к размыву берегов отмечается обычно в верхнем и среднем участках малых водохранилищ. Здесь такие берега, минуя абразионный тип развития, постепенно зарастают и полностью стабилизируются. В редких случаях на некоторых участках берега, в силу выхода на дневную поверхность хорошо размокающих и оплывающих грунтов (суглинков и супесей), создаются условия для перехода их в слабо абразионные типы развития.

Общность основных берегоформирующих факторов для малых водохранилищ в равнинных условиях позволила установить критерии устойчивости их развития в береговой зоне. При этом была принята во внимание аналогия с завершившими свое развитие берегами небольших озер, которым свойственна стабильность гидродинамических условий в историческом отрезке времени и достижение берегов и прибрежных отмелей устойчивого динамического равновесия, выражающегося и в относительной выровненности берегов в плане (рис. 4).

Анализ состояния берегов малых озер и водохранилищ в близких природных и гидроморфологических условиях позволяют оценить критерий их ус-

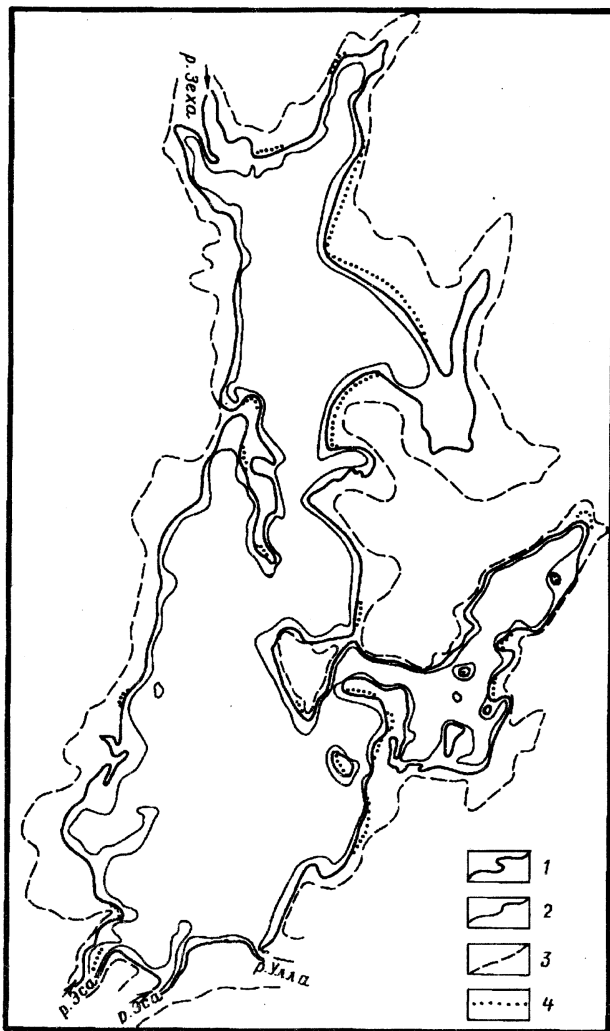


Рис. 5. Зоны влияния Лепельского озерного водохранилища на побережье

1 — современный контур водохранилища; 2 — контур озера до поднятия уровня; 3 — граница климатического влияния; 4 — зона проявления экзогенных процессов

тойчивости. Для этой цели используется коэффициент устойчивости берегов  $K_y$ , равный отношению общей длины берегов водохранилища  $l_b$  к длине берегов озера  $l_{оз}$ , взятого в качестве аналога. Как выяснилось, наибольшая устойчивость берегов водохранилищ имеет место при показателе  $K_y$ , равным 1 или меньше ее, что обычно свойственно берегам водохранилищ, находящихся в стадии стабилизации.

При оценке взаимодействия береговой зоны с окружающей средой следует указать, что малые водохранилища влияют на изменение природных условий своих побережий. Вокруг них создаются зоны климатического влияния, подпора подземных вод, переработки берегов. Иногда они накладываются друг на друга, образуя интегральную зону влияния водохранилища на прилегающую сушу. Покажем схему такого влияния на примере Лепельского озерного водохранилища в Белоруссии (рис. 5).

Одной из ответственных и практических задач является прогноз развития берегов водохранилищ во времени и пространстве, что широко используется при хозяйственном освоении берегов водохранилищ. В настоящее время разработан ряд методов прогноза развития берегов водохранилищ [8], хотя не всегда в них соблюдается разница между прогнозными схемами и расчетными методами. Достаточно часто основное внимание уделяется разработке расчетных методов, а теоретическому обоснованию схем прогноза развития берега не придается существенного значения. В то же время необходимо заметить, что в содержание прогноза обязательно должны входить эти два основных и взаимосвязанных этапа его составления. Если на первом этапе в расчетный метод вводятся все основные факторы и условия их изменения на конкретном участке, а затем рассчитывается состояние берега на будущее, то на втором этапе идет окончательная интерпретация полученных результатов с учетом принятой модели развития того или иного типа развития берега.

При прогнозном оценке развития берегов выделяются два основных их вида. Краткосрочные прогнозы в своей основе содержат энергетическую сущность оценки происходящих береговых процессов. В этом случае объем переработки берегов ( $Q_n$ ) рассчитывается на основании аналитической модели предложенной Е. Г. Качугиным [9],

$$Q_n = E K_p K_6 t^d,$$

где  $E$  — расчетная многолетняя энергия волнения, т м/год на пог. м;  $K_p$  — коэффициент размываемости пород, слагающих берег;  $K_6$  — коэффициент влияния высоты берега;  $t$  — заданный срок размыва, годы;  $d$  — показатель степени, учитывающий условия формирования и отложения прибрежных осадков.

При составлении долгосрочных прогнозов возникает необходимость учесть в них и ряд других положений, в частности цикличность развития во времени интенсивности переработки берегов, эволюционные стадии развития и другие специфические особенности, характерные для формирующихся берегов в течение длительного периода времени.

Проверка оправданности сделанных прогнозов показала, что они должны быть вероятными, а не детерминированными. Дискретному характеру развития берегов полнее и глубже соответствует вероятный прогноз, предусматривающий несколько возможных путей преобладающего их развития в будущем.

Значительные перспективы имеются при применении теории подобия для оценки развития береговых процессов в различных природных условиях и их прогноз. Исследования Л. Б. Розовского [10], А. Д. Колбутова [11], В. М. Московкина и В. М. Широкова [6], А. М. Трофимова и др. [12, 13] и др. позволили дать ряд морфодинамических, геодинамических, литологических и типологических критериев подобия, которые позволяют составить геоморфологическую модель развития берегов водохранилищ и выявить условия устойчивости склонов на определенный период времени.

В последние годы специалисты, изучающие берега малых водохранилищ, все больше обращают внимание на неволновые факторы. Если на начальном этапе изучения формирующихся берегов выяснилось воздействие в первую очередь волновых факторов, влияющих на их становление, особенно на крупных водохранилищах, то по мере расширения исследований стали обращать внимание и на участие неволновых факторов, особенно при создании малых водохранилищ. Было установлено, что по мере уменьшения размеров создаваемых водохранилищ соответственно увеличивается значение неволновых факторов в формировании береговой зоны. В результате оказалось, что в настоящее время при разработке основ прогнозирования формирования берегов в особенности малых водохранилищ, необходимо учитывать не только волновую оценку переработки берегов, но и другие сопутствующие процессы неволнового

характера, имеющие место в береговой зоне. Это — развитие овражной эрозии, оползневых и криогенных процессов, солифлюкции, суффозии, просадок, карста, т. е. всю совокупность экзогенных процессов, которые могут возникнуть в береговой зоне при создании водохранилищ. В результате часто возникает необходимость разработать комплексный прогноз формирования береговой зоны водохранилища под влиянием всех этих процессов, формирующих береговую зону водохранилищ. Комплексный характер прогноза может существенно повысить его точность. Хотя в настоящее время чаще всего из всех происходящих процессов в береговой зоне в прогнозе учитывается только волновая переработка берегов. В результате можно говорить о необходимости создания системы географических прогнозов, в которой объединялись бы необходимые частные прогнозы по различным экзогенным процессам. На этой основе давался бы единый прогноз развития для отдельных участков береговой зоны малых водохранилищ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Широков В. М. Конструктивная география рек: основы преобразования и природопользования. Минск: Изд-во Минск. ун-та, 1985. 189 с.
2. Широков В. М., Лопух П. С. Формирование малых водохранилищ гидроэлектростанций. М.: Энергоатомиздат, 1986. 144 с.
3. Дедков А. П., Мозжерин В. И. Изменение окружающей среды и геоморфологические процессы//Экзогенные процессы и окружающая среда. М.: Наука, 1990. С. 8—12.
4. Московкин В. М., Широков В. М., Мануйлов М. Б., Роненко О. П. Имитационная стохастическая модель функционирования искусственного пляжа как полидисперсной системы//Вест. Белорус. ун-та, серия 2. 1989. № 1. С. 53—57.
5. Широков В. М., Московкин В. М. Анализ устойчивости равновесных состояний пляжа при нелинейном законе истирания пляжеобразующего материала//Вестн. Белорус. ун-та, серия I. 1990. № 3. С. 46—51.
6. Широков В. М., Московкин В. М. Численное моделирование процессов пляжеформирования и абразии берегов в условиях управления//Вестн. Белорус. ун-та, серия II. 1987. № 3. С. 51—55.
7. Широков В. М., Лопух П. С. Особенности формирования равновесной береговой линии малых водохранилищ//Геоморфология. 1983. № 2. С. 84—89.
8. Аношк В. С., Трофимов А. М., Широков В. М. Основы географического прогнозирования. Минск: Выш. шк., 1985. 239 с.
9. Качугин Е. Г. Геологическое изучение динамики берегов водохранилищ. М.: Наука, 1975. 147 с.
10. Розовский Л. Б. Введение в теорию геологического подобия и моделирования. М.: Недра, 1969. 126 с.
11. Колбутов А. Д. К выбору критериев прогнозирования для оценки последствий переработки берегов на озерах-водохранилищах//Комплексное использование водохранилищ и их влияние на окружающую среду. Л.: Энергия, 1973. С. 108—118.
12. Широков В. М., Трофимов А. М., Московкин В. М. Анализ модели динамики берегового склона//Вестн. Белорус. ун-та, серия 2, 1990. № 1. С. 44—49.
13. Методические рекомендации по изучению и прогнозированию подпора подземных вод и переработки берегов водохранилищ Сибири. Новосибирск, 1972. 200 с.

Белорусский государственный  
университет

Поступила в редакцию  
12.03.92

#### PROBLEMS AND SPECIAL FEATURES OF COAST EVOLUTION OF SMALL WATER RESERVOIRS ON PLAINS

V. M. SHIROKOV

#### Summary

In the course of long-term studies of small water reservoirs principal features of their coasts development have been established as well as dominant types of coasts. Essentials of the small reservoir — surrounding area interrelation are formulated as well as basic principles of the prognosis of their evolution.