

ПРИНЦИПЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МАЛЫХ РАВНИННЫХ  
ВОДОХРАНИЛИЩ С ОКРУЖАЮЩИМ ПОБЕРЕЖЬЕМ

Практика многолетних комплексных стационарных исследований берегов малых водохранилищ в различных регионах СНГ (Прибалтика, Белоруссия и Украина) позволила получить наиболее общие особенности их развития в равнинных условиях. Было установлено, что формирование берегов при этом происходит в тесной взаимосвязи с внутриводоемными процессами, эволюцией побережья и чаши водохранилищ.

При проектировании и строительстве водохранилищ возникает необходимость оценить их воздействие на окружающую природную среду. Эта оценка включает и вопросы формирования новых берегов [1]. В последние годы такие работы приобретают массовый характер, так как создание водохранилищ идет все более нарастающими темпами. Так, сейчас в СНГ малых водохранилищ создано около 2,5 тыс, а к 2000 г. их количество может удвоиться. Протяженность береговой линии этих водохранилищ по подсчетам разных авторов составляет от 25 до 30 тыс. км [2]. Из них на абразионный тип развития приходится 10-12 тыс. км. Для каждой природно-климатической зоны процесс переработки берегов водохранилищ имеет свои отличия и разную продолжительность их интенсивного формирования [3]. Многочисленными исследованиями выявлены характерные качественные и количественные особенности развития всех основных генетических типов берегов и их преобладающее распространение в водохранилищах каждой природно-климатической зоны. Очень часто на малых равнинных водохранилищах встречаются берега, формирующиеся в условиях слабого волнового воздействия. Наличие таких динамически пассивных районов часто приурочено к верховьям водохранилищ и их заливам. В этом случае берега, минуя абразионный тип развития, являются нейтральными и постепенно зарастают, а затем и стабилизируются. Такой тип развития особенно широко представлен на малых водохранилищах [2].

Процесс переработки берегов можно отнести к резким экзогенным нарушениям. В ходе развития этого процесса можно выделить два основных тренда - возмущения и релаксации. Согласно А.П. Дедкову и В.И. Мозжерину [4], возмущающий тренд характеризуется нарастанием ин-

тенсивности процесса (Е) во времени (Т) типа общей зависимости  $E = T^n$ , где  $n \gg 1$ , а релаксация характеризуется постепенным его затуханием. Имея в виду эти особенности экзогенных нарушений при оценке формирования берегов водохранилищ, можно выделить три стадии развития берегов малых водохранилищ во времени: становления, стабилизации и отмирания [5,6].

Опыт длительной эксплуатации малых водохранилищ показал, что характер и тип развития берегов закладываются в стадии становления и являются очень разнообразными в зависимости от сочетания слагающих их пород, степени проявления ветрового волнения, характера преобладающих экзогенных процессов, морфологических особенностей склонов и гидродинамических условий в прибрежной зоне [7,8]. Все эти факторы и условия переработки берегов являются информационной базой, которая закладывается в основу расчета устойчивости склонов.

Стадия становления берегов водохранилищ имеет несколько последовательных фаз в своем развитии. Это в первую очередь фаза начального формирования берегов при заполнении водоема и фаза интенсивной их переработки при нормальной эксплуатации. Наиболее полное проявление этих фаз в стадии становления берегов было прослежено на малых водохранилищах, расположенных в равнинных условиях. Наконец, на эту стадию разрабатываются и прогнозы развития береговых склонов [9].

Стадия стабилизации имеет отношение 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 стадии стабилизации интенсивный процесс переработки берегов возможен только в тех случаях, если при эксплуатации водохранилищ возникают условия кратковременного форсирования уровня воды над НПУ, но определяющего значения в развитии береговой зоны на этой стадии они не имеют. Благодаря преобладающему развитию в это время в прибрежной зоне аккумулятивных процессов происходит постепенное выравнивание берегов в плане, создаются плавные береговые дуги, формируются подводные валы и аккумулятивные косы [10]. Эти особенности развития береговой зоны в стадии стабилизации прослежены достаточно подробно на ряде малых водохранилищ Европейской части СНГ, имеющих длительный срок существования [6].

В стадии отмирания все береговые процессы постепенно прекращаются, а береговые склоны переходят в устойчивое состояние, зарастая травяной, а затем древесной и кустарниковой растительностью. Такое последовательное развитие береговых процессов обусловлено постепенным ростом прибрежных отмелей, снижением гидродинамической активности в прибрежной зоне водоемов, общей тенденцией к отработке окончательного развития береговой линии в плане, медленным занесением 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, обусловленные гидродинамическими и морфометрическими особенностями этих водоемов, преобладающими геоморфологическими процессами, протекающими в таких несвязанных и малосвязанных 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, а аккумулятивные процессы в стадии становления выражены значительно слабее и представлены в основном абразионно-аккумулятивными и типично аккумулятивными типами. Роль последних усиливается по мере старения водохранилища.

Берега неволнового происхождения на малых водохранилищах распространены достаточно широко и часто достигают 60–65 % от общей их протяженности. Это пологие берега, нейтральные по отношению к абразионному процессу. Они формируются в условиях почти полного отсутствия воздействия волновой деятельности, так как ее энергия тратится на затопленных пологих склонах прибрежной зоны, не достигая берега. Наличие таких динамически пассивных по отношению к размыву береговых участков отмечается обычно в верхнем и среднем районах малых водохранилищ. Здесь также 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 (суглинки и супеси) создаются условия для перехода их в слабоабразионные типы развития.

Общность основных берегоформирующих факторов для малых водо-

хранилищ в равнинных условиях позволила установить критерии устойчивости их береговой зоны. При этом принята во внимание аналогия с завершившими свое развитие берегами небольших озер, которым свойственна стабильность гидродинамических условий в историческом отрезке времени, и достижением берегами и прибрежными отмелями устойчивого динамического равновесия, которое выражается в том числе и в относительной выравненности берегов в плане [10].

Анализ состояния берегов малых озер и водохранилищ в близких природных и гидроморфологических условиях позволяет оценить критерий их устойчивости. Для этой цели используется коэффициент устойчивости берегов  $K_y$ , который равен отношению общей длины берегов водохранилища  $l_b$  к длине берегов озер  $l_{оз}$ , взятого в качестве аналога. Наибольшая устойчивость берегов водохранилищ имеет место при показателе  $K_y$ , равном 1 или меньше ее, что обычно свойственно берегам водохранилищ, находящимся в стадии стабилизации.

При оценке взаимодействия береговой зоны с окружающей средой следует указать, что малые водохранилища по-разному влияют на изменение природных условий своих побережий [11]. 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. Примером такого влияния может служить Лепельское озерное водохранилище в Белоруссии (см. рисунок).

Одной из ответственных и практических задач является прогноз развития берегов водохранилищ во времени и пространстве. Эта область исследований наиболее широко используется при хозяйственном освоении берегов водохранилищ. В настоящее время имеется ряд методов прогноза развития берегов водохранилищ [12, 17], хотя не всегда в них соблюдается разница между прогнозными схемами и расчетными методами. Достаточно часто внимание уделяется прежде всего разработке расчетных методов, а теоретическому обоснованию схем прогноза развития берега не придается существенного значения. В то же время необходимо подчеркнуть, что содержание прогноза обязательно должно состоять из этих двух основных и взаимосвязанных этапов. Если на первом этапе в расчетный метод включают все основные факторы и условия их изменения на конкретном участке, а затем рассчитывают состояние берега на будущее, то на втором этапе идет окончательная интерпретация полученных результатов с учетом принятой модели развития того или иного типа развития берега.



### Зоны влияния Лепельского озера на побережье

При прогнозной оценке развития берегов выделяют 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 основа-

нии аналитической модели, предложенной Е.Г. Калутинным:

$$Q_n = E \cdot K_p \cdot K_\sigma \cdot t^d,$$

где  $E$  – расчетная многолетняя энергия волнения, т-м/год на пог. м;  
 $K_p$  – коэффициент размываемости слагающих берег пород, м<sup>3</sup>/т-м;  
 $K_\sigma$  – коэффициент влияния высоты берега;  
 $t$  – заданный срок размыва, лет;  
 $d$  – показатель степени, учитывающий условия формирования и отложения прибрежных осадков.

При составлении долгосрочных прогнозов, кроме того, 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 времени. Практика проверки 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 прогноза. Выполненные исследования [9, 12-17] позволили дать ряд морфодинамических, геодинамических, литологических и типологических критериев подобия, которые позволяют составить геоморфологическую модель развития берегов водохранилищ, выявить условия устойчивости склонов на определенный период времени.

В последние годы специалисты, изучающие берега водохранилищ, все больше внимания обращают на неволновые факторы, особенно при создании малых водохранилищ. Установлено, что по мере уменьшения размеров создаваемых водохранилищ соответственно увеличивается значение неволновых факторов в формировании береговой зоны. Оказалось, что при разработке основ прогнозирования формирования берегов, особенно малых водохранилищ, необходимо учитывать не только волновую оценку переработки берегов, но и другие сопутствующие процессы неволнового характера, имеющие место в береговой зоне. В их числе прогноз развития овражной эрозии, сползневых и криогенных процессов, солифлюкций, суффозий, просадок, карста, т.е. вся совокупность экзогенных процессов, которые могут возникнуть в береговой зоне при создании водохранилищ.

Таким образом, необходимо создание системы географических прогнозов, в которой объединялись бы необходимые частные прогнозы по различным экзогенным процессам, на основе чего давался бы единый прогноз развития для отдельных участков береговой зоны малых водохранилищ.

#### Литература

1. Широков В.М. Конструктивная география рек: Основы преобразования и природопользования. – Минск: Университетское, 1985. – 189 с.
2. Широков В.М., Лопух П.С. Формирование малых водохранилищ гидроэлектростанций. – М.: Энергоатомиздат; 1986. – 144 с.
3. Широков В.М. Формирование берегов водохранилищ в различных природных зонах//Экзогенный морфогенез в различных типах природной среды. – М., 1990. – С. 4С–47.
4. Дедков А.П., Можерин В.И. Изменение окружающей среды и геоморфологические процессы//Экзогенные процессы и окружающая среда. – М.: Наука, 1990. – С.8–12.
5. Широков В.М. Стадийность развития берегов водохранилищ// Экзогенные процессы и проблемы рационального использования геологической среды. – Ташкент, 1985. – С.65–68.
6. Широков В.М., Лопух П.С. Переработка берегов водохранилищ Белоруссии (основные этапы и стадии развития)//Современные рельефообразующие процессы. – Минск: Наука и техника, 1986. – С.95–102.
7. Московкин В.М., Широков В.М., Мануйлов М.Б., Роненко О.П. Имитационная стохастическая модель функционирования искусственного пляжа как полидисперсной системы//Вестник Белорусского ун-та. – Сер.2. – 1989. – №1. – С.53–57.
8. Широков В.М., Московкин В.М. Анализ устойчивости равновесных состояний пляжа при нелинейном законе истирания пляжеобразующего материала//Вестник Белорусского ун-та. – Сер. 2. – 1990. – №3. – С.46–51.
9. Широков В.М., Лопух П.С. Формирование берегов и дна малых водоемов в равнинных условиях//Тр. У Всесоюз. гидрологического съезда. – Т.8. Озера и водохранилища. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – С.391–398.
10. Широков В.М., Лопух П.С. Особенности формирования равновесной береговой линии малых водохранилищ//Геоморфология. – 1983. – №2. – С. 84–89.
11. Широков В.М. Влияние малых водохранилищ на окружающую природную среду//Оптимальное использование водных ресурсов. Симпозиум,

26-28 мая 1983. - Т.2. - Варна, 1983. - С. 189-198.

12. Методические рекомендации по изучению и прогнозированию подпора подземных вод и переработки берегов водохранилищ Сибири/Сост.: Бейром С.Г., Каскевич Л.Н., Невечера И.К., Широков В.М. - Новосибирск, 1972. - 200 с.

13. Широков В.М., Трофимов А.М., Московкин В.М. Анализ модели динамики берегового склона//Вестник Белорусского ун-та. - Сер.2. 1990. - № 1. - С. 44-49.

14. Широков В.М., Лопух П.С., Левкевич В.Е., Пробокс Я.С. Развитие берегов малых водохранилищ Северо-Запада СССР и особенности их прогноза//Вопросы прикладной геоморфологии. - Минск: Наука и техника, 1988. - С. 42-47.

15. Широков В.М., Московкин В.М. Численное моделирование процессов пляжеформирования и абразии берегов в условиях управления//Вестник Белорусского ун-та. - Сер. 2. - 1987. - №3. - С. 51-55.

16. Аношко В.С., Трофимов А.М., Широков В.М. Основы географического прогнозирования. - Минск: Высшая школа, 1985. - 239 с.

17. Широков В.М., Лопух П.С., Левкевич В.Е. Формирование берегов малых водохранилищ лесной зоны. - С.-П.: Гидрометеиздат, 1992. - 163 с.

УДК 551.482.4

В.Е.Валуев, А.А.Волчек  
(БрПИ)

#### ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОГО ВЛИЯНИЯ НА СТОК МАЛЫХ РЕК

В районах активной хозяйственной деятельности человека трансформация естественного водного режима малых рек достигла критического состояния. Оказались нарушенными режимы стока, уровней, качественные характеристики вод. В принципе разработка научно обоснованных компенсационных мероприятий по восстановлению и повышению полноводности и чистоты водных источников должна базироваться на ретроспективной оценке динамики естественного стока конкретного водотока