

как Изубрица. Цветность воды в основном средняя, однако по цветности выделяется озеро Белое (Котлярово) со слегка повышенным показателем цветности.

По уровню содержания биогенных элементов озера можно отнести к эвтрофным и только озеро Белое (Доброплесы) отличается низким содержанием всех форм азота и фосфатов. Превышений предельно допустимых концентраций не много – по азоту аммонийному (в 1,3 раза) в озерах Изубрица и Лисно.

За годы, прошедшие с первого обследования, качество воды озер изменилось. Если озеро Белое (Доброплесы) осталось достаточно чистым и изменения коснулись лишь небольшого увеличения минерализации воды за счет хлоридов, увеличения цветности и уменьшения прозрачности воды, то в озере Белое (Котлярово) изменения были более заметными: резко выросло содержание хлоридов и органического вещества, в озере Изубрица изменения концентраций биогенных веществ были еще более резкими (содержание азота аммонийного увеличилось в 6 раз). Качество воды озера Освейское по некоторым показателям даже улучшилось.

УДК 519.216.3: 551.435.31:627.8

В.Е. ЛЕВКЕВИЧ¹, Э.И. МИХНЕВИЧ²

¹ Институт экономики НАН Беларуси, г. Минск

² Учреждение образования «Белорусский национальный технический университет», г. Минск

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ГРУНТОВЫХ ОТКОСОВ ДАМБ И ПЛОТИН И ЕСТЕСТВЕННЫХ БЕРЕГОВЫХ СКЛОНОВ В УСЛОВИЯХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ БЕЛАРУСИ

In this article describes the laws that establish the relationship of processes and development of coastal in reservoirs Belarus allowing for the catchment, eroded soils, hydrological artificial water bodies, which allow the enlarged scale of assessment and forecast of siltation and formation of the coast artificial water bodies.

В настоящее время на территории Беларуси находится в эксплуатации около 100 водохранилищ. Как правило, это водные объекты преимущественно руслового типа. Срок эксплуатации водоемов составляет в среднем от 10–20 лет до 30–55 лет. Расположены водохранилища по территории республики крайне неравномерно. Наибольшее их количество находится в бассейне р. Днепр и р. Припять (более 80 единиц). Они имеют соответственно суммарную площадь 834 км² и полный объем 3,1 км³, их общего количества 76,2% приходится на малые водохранилища, небольшие ставяются 19,2%, средние – 4,6%. Более половины малых водохранилищ (53%) имеют объём 1–2 млн.м³.

Как известно, после создания водных объектов в береговой зоне начинают активизироваться ряд процессов, в частности эрозивно-абразионные. Этот процесс наиболее активно протекает в зависимости от характера колебания уровней и ветровых волнения в первые 5–10 лет (группа водохранилищ №1) после ввода в эксплуатацию и до 15–25 лет (группа водохранилищ №2). Все водохранилища республики подразделяются на 2 группы по колебанию уровней в верхнем бьефе в безледный период: группа №1 – это водоемы, имеющие амплитуду колебания уровней до 0,5 м; группа №2 – это водоемы, имеющие амплитуду колебания уровней более 0,5 м (до 1,5 м).

Исследованиями, проведенными авторами, было установлено, что на водохранилищах руслового типа проявление русловой эрозии характерно как для верхнего, так для нижнего бьефов. Наибольшая эрозия берегов наблюдается в центральной и средней частях Беларуси (водохранилища Лепельское, Заславское, Петровичское и др.). На водохранилищах выделяются несколько характерных гидрологических зон, где наблюдается развитие береговых процессов, которые отличаются по видам, интенсивности и масштабам.

В ряде работ (Широков В.М., Левкевич В.Е., Лопух П.С.) отмечается, что у водоемов руслового типа ярко выражены три гидродинамические зоны. Наблюдения показывают, что на водохранилищах руслового типа наибольшая интенсивность переработки происходит на береговых склонах, находящихся в приплотинной части – наиболее широком месте водоема. Деформация и разрушение коренных берегов, так же как и обрушение верховых незакрепленных откосов дамб и плотин, происходит за счет циклического ветроволнового воздействия и колебания уровней воды. Общая протяженность разрушаемых склонов, по современным оценкам, составляет приблизительно 25–40% всей береговой длины водоема и около 50% протяженности дамб и плотин. В верховой части водохранилищ наблюдается подтопление и заболачивание территории, а в некоторых случаях и проявление русловой эрозии. В средней зоне разрушение береговых склонов происходит за счет совместного ветроволнового воздействия и стоковых течений, что ведет к переносу и развитию аккумулятивных форм на определенных участках побережья.

Развитие процесса абразии в условиях водохранилищ страны достаточно удовлетворительно аппроксимируется степенной функцией вида:

$$Y_i = f(t) - b. \quad (1)$$

В зависимости от морфологии берегового склона, грунтов, образующих коренной берег, а также гидрологического режима водоема, формула (1) может иметь ряд модификаций.

Берегоформирование имеет несколько стадий: 1) стадия резкой активизации береговых процессов, вызванных изменением уровня; 2) стадия затухания процесса абразии – переформирования; 3) стадия стабилизации береговой линии. При переходе к фазе устойчивости и динамики береговой линии в плане, было принято, что береговая линия в идеальных условиях (Зенкович В.П., 1962) представляет собой кривую с редованием мысов и заливов. Одним из условий устойчивости береговой линии водохранилища в плане, соответствующем стадии равновесия, является выражение $L_{бр} = \text{Лакк}$, где $L_{бр}$ – протяженность абразионных и аккумулятивных берегов соответственно.

По величине коэффициента устойчивости $k_p = L_{бр} / \text{Лакк}$ можно судить о состоянии стадии развития береговой линии. При $k_p \rightarrow 1$ береговая линия стремится к равновесию. В случае $k_p > 1$ – преобладает абразионное выравнивание склонов. В связи с тем, что коэффициент k_p пропорционально связан с величиной киз, общее и обязательное условие равновесной береговой линии может быть представлено следующим образом:

$$\text{Лакк} / L_{бр} = k_p \rightarrow 1; \quad (2)$$

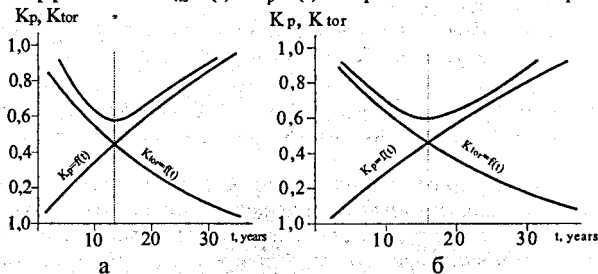
$$L_1 / L_2 = \text{киз} \rightarrow 1,$$

где L_1, L_2 – длина по кратчайшей прямой и реальной береговой линии соответственно. При увеличении k_p от начального значения $k_p \rightarrow 1$, наблюдается изменение кривизны, т.е. происходит переход от криволинейной, синусоидальной кривой к прямолинейной за счет уменьшения длины прогиба дуги ΔL_i , соответствующей линейной переработке мыса ΔS_i . Соответственно с возрастанием времени t величина ΔS_i , а равно-

значно и ΔL_i , стремятся к 0. Между размывом мысов и занесением заливов материалом переработки берегов, перемещающимся вдоль береговой линии под действием ветрового волнения и течений (Михневич Э.И., Максимчук В.Л., Левкевич В.Е.), характеризующихся величинами $L_{ак}$ и $L_{бр}$, должно соблюдаться соотношение (1), так как с возрастанием $L_{бр}$ происходит увеличение $L_{ак}$. В идеальных же условиях их рост должен наблюдаться синхронно. Однако в натуре, как показали исследования, в этом процессе наблюдается значительная асинхронность, что объясняется формированием равновесного профиля в первые 3–5 лет, когда часть материала переработки берегового склона ΔQ , поступающего в береговую зону водоохранилища, идет на образование береговой отмели (подводной составляющей), а часть выносится в акваторию водоема. На более поздних стадиях (более 10–15 лет существования водоема при сформировавшейся береговой отмели) происходит развитие вдольбереговых потоков наносов, где преобладает вдольбереговая составляющая, т.е. транзит. Тогда уравнение береговой линии на стадии равновесия, соответствующей конечному периоду (t_k), представляется в виде:

$$\int_{t_n}^{t_k} (\sum Q_{акк} + dQ_{акк}) dt = \int_{t_n}^{t_k} (\sum Q_{абр} + dQ_{абр}) dt \pm \Delta Q_{абр}, \quad t_n = 0 \quad t_0 = 0. \quad (3)$$

Уравнение (3) справедливо при соблюдении условий $k_{рп} > k_{рн}$; $k_{изк} < k_{изн}$, где $k_{рп}$, $k_{изн}$, $k_{рн}$, $k_{изк}$ – значения коэффициентов на начальный t_n и конечный t_k периоды соответственно. Изменение коэффициентов $k_{изн} = f(t)$ и $k_{рп} = f(t)$ во времени показано на рис. 1.



а – аккумулятивная асимметрия б – абразионная асимметрия
Рисунок 1 – Изменение коэффициентов $k_{изн} = f(t)$ и $k_{рп} = f(t)$ во времени

Участок графика $t_0 - t_1 = \Delta t_1$ характеризует стадию абразионного выравнивания, $t_1 - t_2 = \Delta t_2$ – стадию аккумулятивного формирования. Асимметрия графика говорит о доминировании первого или второго процесса во времени и зависит от режима поступления материала переработки в чашу водоохранилища и питания потока наносов $\Delta Q_{абр}$ с учетом формы берегового склона. Для берега приглубокой формы $H/\lambda > 2$, где H – глубина у берега, λ – длина волны 1 % обеспеченности, характерна абразионная асимметрия (рис. 1.а), для отмелей – аккумулятивная (рис. 1.б). Представленный график характерен и для деформаций грунтовых откосов дамб и плотин.

Таким образом, на созданных в различных районах республики водоохранилищах при изменении гидрологических условий нарушается устойчивость береговой линии, активизируются экзогенные явления на берегах, в ходе абразионных и аккумулятивных процессов вырабатывается профиль равновесия береговой линии, соответствующий новому положению уровня воды в водоеме, что ведет, в итоге, к стабилизации береговых деформаций.