

# MARGINAL GLACIAL FORMATIONS AT NW DNIEPER TONGUE AREA AS THE BASIS FOR DEGLACIATION STAGES RECONSTRUCTION

МАТОШКО А. В.

## Summary

A distinct zonality of topography and glacial deposits has been established at NW of the area covered with Dnieper tongue of the ice sheet, the zonal pattern being formed by four bands of marginal glacial formations (MGF). As far as the geomorphology of MGF is concerned, they consist of glaciomorphic sectors, which in turn include marginal zones, the latter consisting of elementary forms.

Some features of the Dnieper tongue dynamics and geological activity during deglaciation are inferred from data on the MGF geology and geomorphology, as well as from the glacial deposits occurrence and lithology. The ice sheet recession at the right bank of the middle Dnieper and within the Pripyat drainage basin took place by means of areal deglaciation, with pronounced sectoral-zonal pattern.

УДК 551.435.36

ШИРОКОВ В. М., ЛОПУХ П. С.

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РАВНОВЕСНОЙ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ МАЛЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ

Равновесная береговая линия водохранилища является конечным результатом его эволюционного развития в стадию становления, продолжительность которой для малых водохранилищ в среднем 15—20 лет [1]. Переход в равновесное состояние служит началом характерной для водохранилища стадии стабилизации берегового процесса и одним из признаков формирования его устойчивости [2]. При этом берега в плане как на морях, так и на крупных водохранилищах принимают извилистые очертания с внешними и внутренними дугами и мысами [3, 4]. Участок берега между двумя опорными мысами с достаточно большим радиусом кривизны является внешней дугой. Аккумулятивные береговые косы, образованные двусторонним вдольбереговым питанием наносами и выдвинутые в открытую часть водохранилища, создают внутренние дуги, осложняющие контур внешних дуг.

Формирование равновесной береговой линии в малых водохранилищах речного типа происходит в условиях значительной вытянутости их котловин. Удлиненность площади зеркала ( $\Delta L$ ), определяемая отношением длины водохранилища ( $L$ ) к средней его ширине ( $B_{cp}$ ), для водохранилищ Белоруссии изменяется от 1,2 до 47,4 [5]. В малых искусственных водоемах береговые дуги должны формироваться со значительно большим, чем в крупных, прогибом [3]. По всей вероятности, в малых водохранилищах береговая линия стремится к формированию ряда дуг, описываемых уравнением окружности. Прогиб дуги возрастает с увеличением крутизны волн, что характерно для малых водоемов. Максимальная величина прогиба дуг достигается при форме береговой линии, близкой к дуге окружности определенного радиуса. Поэтому формирующиеся внутренние и внешние дуги малого водохранилища должны также отличаться максимальной величиной прогиба.

При заполнении водохранилища очертания берегов создаются первичным рельефом склонов побережья, который определяет в значительной степени положение опорных мысов внешних дуг и расстояние между ними. Приглубые участки берега, сложенные рыхлыми породами, размываются до выработки равновесного профиля с хорошо выраженной аккумулятивной отмелью. Участок берега между мысами должен также перейти в равновесное состояние с изменением его конфигурации от прямого или близкого к нему к ряду равновесных береговых дуг в плане.

Для изучения равновесной береговой линии малого водохранилища был выбран прямолинейный участок укрепленного берега в приплотинной части Солигорского водохранилища на р. Случь, представленной земляной оградительной дамбой из местного материала, в основном песка эолового происхождения. В прирезовой части дамба укреплена насаждениями ивы. Для Солигорского водохранилища, заполненного в 1967 г., показатель удлиненности равен 24,0. Фронтальные волны совпадают здесь, как правило, с нормалью к оси водохранилища. Волны с максимальной длиной разгона, совпадающей с осью водохранилища, подходят к берегу под острым углом  $\alpha$ .

При картировании летом 1980 г. этого участка берега было установлено, что береговая линия состоит из ряда дуг и опорных мысов. Средняя ширина мысов у основания 75,4 м, длина по перпендикуляру от их вершины 25,8 (табл. 1). Соотношение средних величин ширины к длине составляет 2,9. В среднем на каждые 125 м берега приходится один аккумулятивный мыс.

По происхождению и соотношению морфометрических показателей все имеющиеся на участке мысы были разделены на три группы.

Первую группу образуют опорные мысы, положение которых обусловлено положительными формами рельефа затопленного ложа со средним соотношением ширины к длине 4:1. В их вершинах проявляется слабая абразия, а по обе стороны на внешних дугах — аккумуляция. Частота опорных мысов — два на 1 пог. км берега.

Ко второй группе отнесены мысы, активное формирование которых происходит при двустороннем питании вдольбереговыми наносами за счет размыва берега. Среднее соотношение ширины мысов к их длине у основания составляет 2:4. Частота мысов — три на 1 пог. км берега. Наличие в вершинах мысов аккумулятивных форм свидетельствует о продолжающихся здесь процессах аккумуляции и формирования внутренних дуг. Мысы этой группы создаются аналогично симметричным выступам двустороннего питания, выделенным ранее для морских берегов В. П. Зенковичем [6].

В третью группу входят мысы, расположенные на участках берега внутри контура внутренних дуг. Формирование их обусловлено очаговыми размывами берега и аккумуляцией продуктов разрушения. Отличаясь небольшими размерами, они, как правило, очень мобильны во времени и находятся на начальных стадиях формирования. Соотношение ширины к длине мысов составляет 1:9, частота их — три на 1 пог. км берега.

Таким образом, в пересчете на 3 км протяженности исследуемого берега формируются 2 опорных мыса шириной 200 и длиной 50 м, 18 аккумулятивных мысов (9 — шириной 60 и длиной 25 м и 9 — соответственно 30 и 15 м). Такое количественное соотношение мысов различных размеров соответствует формированию равновесной береговой линии приплотинной части Солигорского водохранилища и, следовательно, является оптимальным вариантом равновесной береговой линии, которая должна сформироваться в последующие 5—7 лет на других участках. Этот период начала стабилизации берегов характерен для большинства малых искусственных водоемов. Гидродинамические условия формирования береговой линии определяются длиной разгона волн вдоль оси водохранилища ( $D_0$ ), равной 3—5 км, и подходящей к берегу волной под углом 0—30°, а также длиной разгона волн по фронту ( $D_\phi$ ), равной 1,2 км.

Опираясь на положение Б. А. Попова [4], что в контур береговой линии могут быть вписаны окружности различного радиуса, мы провели такое исследование для изученного участка берега. Выяснилось, что фактическая береговая линия соответствует очертанию равновесной линии в виде симметричных дуг окружностей различного радиуса (рисунок). Для более детального анализа равновесной береговой линии был выбран участок берега между двумя опорными мысами первой группы, представляющий внешнюю дугу. Графически были полу-

Таблица 1

## Соотношение морфометрических характеристик опорных и аккумулятивных мысов берегового участка Солигорского водохранилища

Номера пикетов	Номера пикетов															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Расстояние от предыдущего пикета, м	80	80	28	212	95	93	56	133	145	118	237	210	215	100	140	100
Ширина мысов у основания (b), м	25	32	20	208	58	27	43	12	63	41	70	298	43	92	65	109
Длина мысов (от основания к вершине) (y), м	21	12	12	56	21	18	21	6	26	17	33	59	15	41	18	35
Отношение ширины мысов к их длине, b/y	1,19	2,66	1,66	3,71	2,69	1,50	2,00	2,08	2,42	2,41	2,12	5,05	2,86	2,21	3,54	3,11

Таблица 2

## Характеристика равновесной береговой линии обследованного участка Солигорского водохранилища

Равновесная берцовая дуга	Порядок	Количество дуг	Расстояние между мысами, м (L)	Длина аккумулятивных мысов, м (Y)	Величина прогиба дуг, (Y/L)	Радиус дуг, м (R)
Внешняя » Внутренняя »	I	1	$L_0 = 1080$	$Y_0 = 112$	$Y_0/L_0 = 0,10$	$R_0 = 1270$
	II	2	$L = 538$	$Y = 84$	$Y/L = 0,15$	$R = 561$
	I	4	$l = 274$	$y = 53$	$y/l = 0,20$	$r = 176$
	II	8	$l_1 = 139$	$y_1 = 36$	$y_1/l_1 = 0,25$	$r_1 = 86$

## Водохранилище

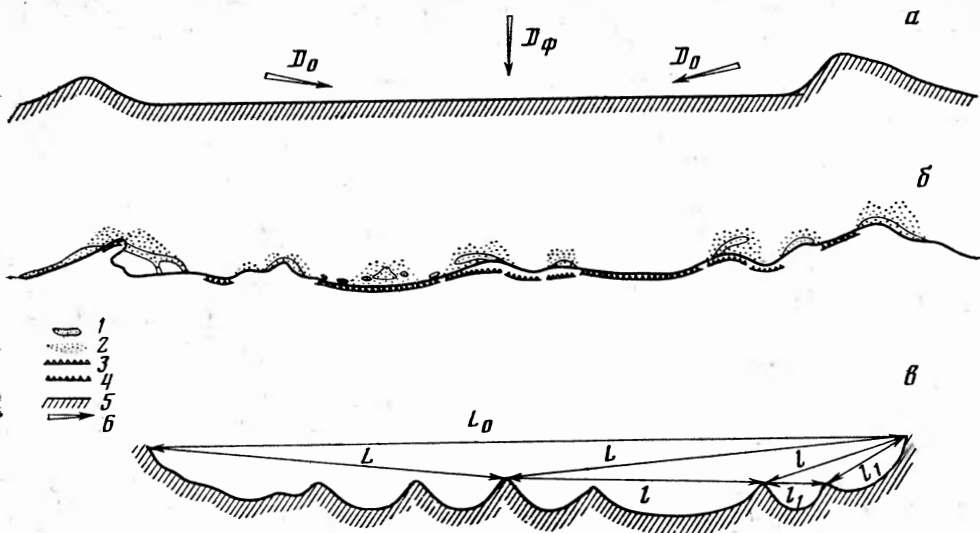


Схема изменения участка береговой линии малого водохранилища в плане *а* — береговая линия при заполнении водохранилища; *б* — береговая линия на период обследования; *в* — равновесная береговая линия на начало периода стабилизации. 1 — надводные части аккумулятивных форм и береговые валы на них, 2 — подводные части аккумулятивных форм, 3 — отмерший абразионный берег, 4 — активный абразионный берег, 5 — контур береговой линии, 6 — характерные направления разгона волн ( $D_\phi$  — по фронту,  $D_0$  — преобладающих направлений). Расстояние между опорными мысами внешних дуг:  $L_0$  — первого порядка,  $L$  — второго порядка; расстояние между аккумулятивными мысами внутренних дуг:  $l$  — первого порядка,  $l_1$  — второго порядка

чены осредненные параметры внешних и внутренних дуг равновесной береговой линии первого и второго порядка (табл. 2).

Величина внешних дуг определяется в основном волнами открытого водоема. Для внешней дуги первого порядка длина разгона по фронту соответствует длине ее радиуса ( $R_0 = D_\phi$ ). При длительной эксплуатации водоема равновесная береговая линия стремится к дуге с максимальным прогибом, радиус которой определяется по формуле, предложенной Б. А. Поповым [4]:

$$R = 3/2L \frac{1}{1+a}, \quad (1)$$

где  $L$  — расстояние между опорными мысами,  $a$  — число, определяемое экспериментально или на натурной модели. При подстановке параметров внешней дуги получена зависимость, описываемая уравнением радиуса внешней дуги малого водохранилища на стадии равновесной береговой линии:

$$R_0 = 3/2D_0 \frac{\sin \alpha}{1 + \sin \alpha}, \quad (2)$$

где величина  $a$  оказалась весьма близкой к  $\sin \alpha$ , а  $L = L_0 = D_0 \sin \alpha$ .

Расстояние между опорными мысами определяется также фронтальной длиной разгона волн:

$$L_0 = D_0 \sin \alpha = D_\phi \sin 90^\circ = D_\phi, \quad (3)$$

что является закономерным для овального или округлого водоема, которым может быть малое водохранилище в стадию стабилизации. Длина опорных мысов является результатом рефракции волн, направленных под углом  $\alpha$  к берегу:

$$Y_0 = 0,10D_0 \sin \alpha. \quad (4)$$

Величина  $Y$  тесно связана с радиусом внешних береговых дуг и определяется через произведение величины прогиба на радиус дуги:

$$Y_0 = 0,10R_0 \approx 0,10 \cdot 1270 \approx 127, \quad (5)$$

$$Y = 0,15R = 0,15 \cdot 561 = 84 \quad (6)$$

Некоторое несоответствие величины радиуса внешней дуги первого порядка вызвано, по-видимому, искажениями при определении радиуса, а также недостаточной точностью картосхемы водохранилища. Из определения величины прогиба и согласно таблице экспериментальных параметров (табл. 2) следует, что для внешних дуг второго порядка

$$Y = 0,075D_0 \sin \alpha. \quad (7)$$

Выраженность внешних дуг первого и второго порядка определяется морфометрическими и гидродинамическими условиями водоема. Внутренние дуги береговой линии водохранилища располагаются полностью в пределах прибрежной зоны.

Для внутренних дуг первого порядка изученного участка берега среднее расстояние между мысами равно четвертой части расстояния между опорными мысами внешних дуг:

$$l = 1/4 L_0 = 1/4 D_0 \sin \alpha, \quad (8)$$

а для внутренних дуг второго порядка — соответственно восьмой части:

$$l_1 = 1/8 D_0 \sin \alpha. \quad (9)$$

Подставляя в выражение (7) величину прогиба, определенную экспериментально (равную 0,20), получили следующее уравнение длины аккумулятивного мыса

$$y = l \cdot 0,20 = 1/20 D_0 \sin \alpha. \quad (10)$$

Аналогично для внутренних дуг второго порядка уравнение будет следующим:

$$y_1 = 1/32 D_0 \sin \alpha. \quad (11)$$

В результате проведенных исследований установлено, что выдвинутые Б. А. Поповым теоретические положения о рефракции волн и их действии на берег [3, 4] находят реальное подтверждение на малых водохранилищах при оценке развития равновесной береговой линии во времени. Берега этих водоемов, как правило, сложны легкоразмываемыми породами. Полученные материалы экспериментальных исследований берегов Солигорского водохранилища позволили наметить общие закономерности развития берегов малых водохранилищ, которые расширяют наши представления об эволюции котловин малых искусственных водоемов [7].

1. Для определения внешних береговых дуг равновесного берега характерна зависимость

$$Y = CR, \quad (12)$$

где  $Y$  — длина опорных мысов,  $R$  — радиус дуг,  $C$  — величина прогиба.

2. От внешних береговых дуг к внутренним с повышением их порядка величина прогиба увеличивается соответственно от 0,10—0,15 до 0,20—0,25. Максимальная величина прогиба устанавливается в мелководной зоне для внутренних аккумулятивных дуг второго порядка.

3. Длина опорных и аккумулятивных мысов определяется длиной разгона и углом подхода волн к берегу. В конкретных гидродинамических условиях величина разгона волны  $D_0$  стремится к длине до точки ее трансформации на прибрежном мелководье. Обобщая выражения (4), (7) — (11), можно представить их в виде

$$Y = kD \sin \alpha, \quad (13)$$

где  $Y$  — длина мысов,  $D$  — длина разгона волны до точки ее трансформации,  $\alpha$  — угол подхода волн к берегу,  $k$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от порядка и степени прогиба равновесных береговых дуг.

4. В связи с небольшой продолжительностью периода становления берегов малых водохранилищ и соответственно с этим малой величиной вдольбереговых потоков наносов создаются условия для быстрого развития контура береговой линии. В период стабилизации равновесной береговой линии возрастает роль твердого стока впадающих рек и процесса зарастания берегов. Следовательно, равновесные береговые дуги способствуют окончательному формированию берега с характерной извилистостью, величину которой определяет коэффициент развития береговой линии. Для обследованного участка берега на период начала стабилизации он близок к величине 1,25, в то время как при заполнении водохранилища он был равен 1,00.

5. В ходе развития ложа малых водохранилищ разделения их на обособленные водоемы не произойдет, так как рост кос в открытую часть водоема и интенсивное формирование берегов в период становления превосходят достаточно быстро во времени и не даст возможности за этот срок расчленить водоем на отдельные части. В период же стабилизации преобладают процессы занесения и заиления твердым стоком впадающих рек, а также зарастание ложа высшей водной растительностью. В результате в верхней и средней частях водохранилища остается только русло реки, а в нижней происходит формирование водоема с меньшей площадью водного зеркала. Наиболее вероятным является образование озерного водоема вытянутой формы в гидродинамически активной приплотинной части водохранилища. В крупных водохранилищах процесс развития ложа более сложный.

6. Приведенные данные для условий малых водохранилищ позволяют получить параметры модели равновесной береговой линии, которые могут быть использованы при проектировании берегоукрепительных сооружений, создании искусственных пляжей и проведении ряда других мероприятий по благоустройству побережий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Широков В. М., Левкевич В. Е., Ленартович Е. С., Лопух П. С. Особенности формирования берегов малых водохранилищ и прогноз их развития.— В кн.: Берега водохранилищ. Иркутск: Наука, 1980, с. 71.
2. Широков В. М. Формирование берегов и ложа крупных водохранилищ Сибири. Новосибирск: Наука, 1974. 172 с.
3. Попов Б. А. Приближенный анализ формы слабоогнутых аккумулятивных береговых дуг.— В кн.: Тр. Института океанологии АН СССР. Т. 76. М.: Наука, 1965, с. 167.
4. Попов Б. А. Равновесная форма сильноогнутой (внешней) аккумулятивной дуги.— В кн.: Исследование гидродинамических и морфодинамических процессов береговой зоны моря. М.: Наука, 1966, с. 112.
5. Базыленко Г. М., Лопух П. С. Гидроморфологические особенности водохранилищ Белоруссии.— Вестн. Белорусского ун-та, 1980, сер. 11, № 1, с. 49.
6. Зенкович В. П. Основы учения о развитии морских берегов. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 710 с.
7. Лопух П. С. Эволюция ложа малых водохранилищ и прогноз формирования берегов.— В кн.: Достижения молодых ученых в области геологии, геофизики, географии. Пермь: Редакционно-издательский отдел Пермского ун-та, 1980, с. 15.

Белорусский государственный университет

Поступила в редакцию 22.IV.1981

#### SPECIAL FEATURES OF EQUILIBRIUM COASTLINE FORMATION AT SMALL WATER STORAGE BASINS

SHIROKOV V. M., LOPUKH P. S.

#### Summary

A relation between equilibrium shoreline parameters and hydrodynamics on small storage basins has been inferred from field observations. Bearing and built-up promontories length is a function of wave acceleration distance ( $D$ ) and of angle ( $\alpha$ ) of wave approach:  $y = kD \sin \alpha$ , where  $k$  is proportionality factor depending on order and deflection of the equilibrium shoreline festons. For outside shore festons (arcs)  $y = CR$  where  $y$  is length of bearing promontories,  $R$  — the arcs' radius,  $C$  — deflection value. Theoretical assumptions of B. A. Popov on the wave refraction and their impact on the shore have been confirmed by data on coasts formation at small water storage basins.