

УДК 550.83/84

В. М. ШИРОКОВ, В. М. МОСКОВКИН

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЛЯЖЕФОРМИРОВАНИЯ И АБРАЗИИ БЕРЕГОВ В УСЛОВИЯХ УПРАВЛЕНИЯ

Наиболее рациональным методом берегозащиты признается в настоящее время управляющее воздействие в виде подсыпки материала. Предлагаемая работа посвящена анализу динамики береговых систем типа: клиф — пляж в условиях управления (подсыпка или изъятие пляжеобразующего материала).

При постоянной высоте берегового уступа (клифа) динамика береговой системы: клиф — пляж в наиболее общем виде запишется следующим образом [1]:

$$\begin{cases} \frac{dW}{dt} = aHf(W) - \varphi(W) + u, \\ \frac{ds}{dt} = f(W), \end{cases} \quad (1)$$

где W — объем пляжеобразующего материала на единицу береговой линии, m^2 ; a — доля пляжеобразующего материала в породах, слагающих берег ($0 < a < 1$); H — высота клифа, m ; $f(W)$ — скорость отступления клифа, $m/г.$; $\varphi(W)$ — интенсивность истирания пляжеобразующего материала, $m^2/г.$; u — управляющий фактор, $m^2/г.$ (интенсивность подсыпки ($u > 0$) или изъятия ($u < 0$) материала); s — расстояние, на которое отступает клиф в процессе абразии, m ; t — время, $г.$

Рассмотрим наиболее характерные аппроксимационные функции $f(W)$ и $\varphi(W)$ [1, 2]:

$$f(W) = \frac{B(W + e)}{(W + r)^2}, \quad \varphi(W) = \frac{cW}{\gamma + W}, \quad (2) - (3)$$

где $B, e, r, c, \gamma = \text{const} > 0$.

Численные эксперименты по модели (1) при этих функциях производились с помощью стандартной фортрановской подпрограммы, алгоритм которой основан на методе Рунге — Кутты (подпрограмма RKGS).

Для условий рыхлых пород (район мыса Бурнас) обобщенные результаты счета показаны в табл. 1 (первые шесть вариантов). При этом использовались следующие параметры: $a = 0,02$; $H = 10$ m ; $B = 54,4$ $m^3/г.$; $e = 10^{-4}$ m^2 ; $\gamma = 1,7$ m^2 ; $c = 2,2$ $m^2/г.$; $r = 1,7$ m^2 .

Значения функции $W(t)$ и $s(t)$ показаны на конечный момент прогноза ($t = 100$ лет), а в случае деградации пляжа — на момент деградации (исчезновения, t_d). Отмечены выход объема материала $W(t)$ на стационарное значение $W_{ст}$, а также максимальное значение скорости абразии $f_{max}(t_{max})$. Время выхода на стационарное значение принималось равным моменту времени $t_{ст}$, при котором $W(t)$ отличалось от $W_{ст}$ на 1%, что определялось из соотношения

$$\frac{|W_{ст} - W(t_{ст})|}{W_{ст}} = 0,01. \quad (4)$$

Численные расчеты по системе уравнений (1) с учетом функций (2)—(3) (рыхлые породы)

№ пп.	u	$W(0)$	$W_{ст}$	t_d	$t_{ст}$	$W(100)$ ($W(t_d)$)	$S(100)$ ($S(t_d)$)	f_{max}	t_{max}
1	-1	50	—	25—26	—	0	94,86	7,98	21
2	-0,1	50	2,91	—	41	2,91	600,97	7,45	100
3	0	50	3,25	—	45	3,25	576,35	7,25	100
4	0	0	3,25	—	19	3,25	703,39	7,97	6
5	1	0	9,05	—	49	9,05	450,7	7,98	0—1
6	4	0	—	—	—	203,84	85,06	7,98	0—1
7	4	0	—	—	—	210,1	82,83	7,98	0—1
8	-2	80	—	27—28	—	0	84,02	7,98	23

Для сравнения в табл. 1 приведены расчеты (варианты семь, восемь) по модели в условиях прямолинейного берегового склона, предложенной в работе [3].

$$\begin{cases} \frac{dW}{dt} = aHf(W) - \varphi(W) + u, \\ \frac{dH}{dt} = \operatorname{tg} \alpha \cdot f(W), \end{cases} \quad (5)$$

где α — угол наклона берегового склона (клиф вертикальный).

Связь величины отступления клифа с его высотой имеет вид

$$s(t) = \frac{H(t) - H(0)}{\operatorname{tg} \alpha}. \quad (6)$$

В этих двух вариантах: $H(0) = 10$ м, $\operatorname{tg} \alpha = 0,1$. Расчеты по сравниваемым вариантам (шесть и семь) дали близкие результаты, несмотря на то, что по второй модели высота клифа увеличилась почти в два раза ($H(100) = H(0) + s(100) \operatorname{tg} \alpha = 10 + 82,83 \cdot 0,1 = 18,283$ (м)). Расчеты по восьмому варианту близки к расчетам по первому. Так как в варианте шесть $u > c$, монотонный рост функции $W(t)$ будет иметь место на всем временном интервале ($t \geq 0$).

Полностью результаты прогнозных расчетов (функции $W(t)$, $s(t)$, $f(t)$) для первых шести вариантов представлены на рис. 1, 2 и 3. Результаты показывают, что изъятия материала в небольших количествах ($u = -0,1$ м²/г.) не приводят к исчезновению пляжа, а критическое значение изъятия материала, при котором происходит исчезновение равновесного (стабильного) пляжа, лежит в интервале $-1 < u < -0,1$. Од-

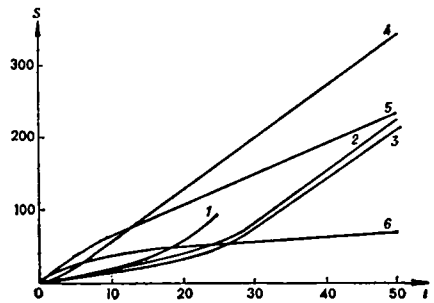
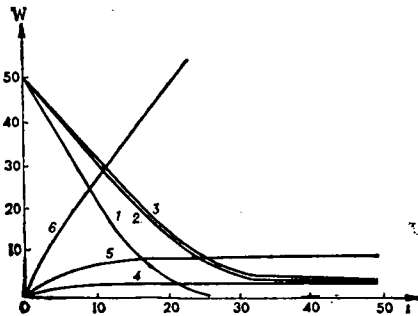


Рис. 1. Прогноз динамики объема пляжеобразующего материала ($W(t)$). Здесь и в рис. 2—3 номера кривых соответствуют вариантам табл. 1

Рис. 2. Прогноз динамики отступления клифа ($S(t)$)

нако в условиях рыхлых пород при формировании равновесных пляжей с малой интенсивностью изъятия материала так же, как и в естественных условиях ($u=0$), происходит значительное отступление берега (клифа) (см. табл. 1).

Стабилизировать (уменьшить) это отступление можно только благодаря значительной подсыпке материала. Так, при $u=4$ м²/г. отступление клифа в восемь раз меньше, чем при отсутствии подсыпки материала. Зная полную стоимость подсыпки 1 м³ (в расчете на 1 пог. м линии берега) материала и ущерб, причиняемый народному хозяйству при абразии (размыве) 1 м берега, можно оптимизировать величину подсыпки материала на основе аналогичных численных экспериментов.

Для прочных пород Новороссийского геологического района в условиях изъятия материала обобщенные результаты расчета показаны в табл. 2. При этом принимались следующие параметры: $a=0,3$; $H=10$ м, $B=0,04$ м³/г., $\varepsilon=0,0025$ м², $r=\gamma=1$ м², $c=0,4$ м²/г.

Вариант три соответствовал расчетам по модели (5) при $H(0)=10$ м, $\text{tg } \alpha=0,3$. Очень близкое совпадение результатов по последним двум вариантам обусловлено тем, что за промежуток времени $t_d=70-71$ г. высота клифа по модели (5) изменилась очень незначительно от 10 до 10,05 м. Это говорит о том, что для условий прочных пород (где отступление клифа относительно небольшое) и небольших уклонах (α) берегового склона вместо модели (5) можно пользоваться более простой моделью (1).

Отметим, что теоретический максимум скорости абразии равен $\max_{W} f(W) = \frac{B}{4(r-\varepsilon)}$. Он достигается при $W_{\max}=r-2\varepsilon$. Для рыхлых пород $f_{\max}(1,7) \approx 8$ м/г., для прочных — $f_{\max}(1) \approx 0,01$ м/г., что и наблюдалось в большинстве предыдущих случаев (см. табл. 1, 2). Отсюда следует, что наиболее неблагоприятная ситуация, с точки зрения абразии берегов, возникает тогда, когда W_{\max} близко к $W_{\text{ст}}$. С увеличением интенсивности изъятия времена t_d и t_{\max} уменьшаются, причем t_{\max} всегда немного меньше t_d .

Рассмотрим нелинейный закон истирания материала, справедливый в предположении равномерного истирания всего объема пляжа, что имеет место для небольших по мощности пляжей. В этом случае $\varphi(W)=kW$. Результаты расчетов при $k=0,1 \text{ г}^{-1}$ (параметры a, H, B, ε, r соответствуют таковым в табл. 1) приведены в табл. 3.

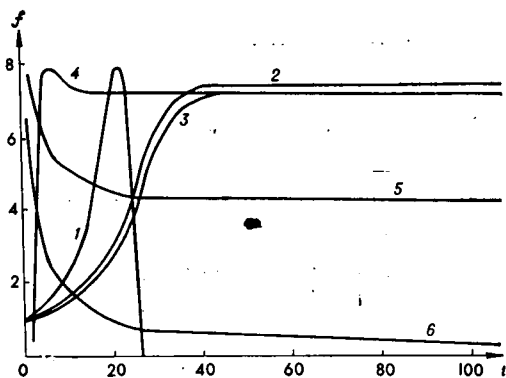


Рис. 3. Прогноз скорости отступления клифа ($f(t)$)

Численные расчеты по системе уравнений (1) с учетом функций (2) — (3) (прочные породы)

№ пп.	u	$W(0)$	t_d	(W/t_d)	$S(t_d)$	$f(t_d)$	f_{\max}	t_{\max}
1	-0,5	10	12—13	0	0,07	0,01	0,01	11—12
2	-0,1	30	70—71	0	0,16	0,0001	0,01	64—65
3	-0,1	30	70—71	0	0,17	0,0001	0,01	60—70

Численные расчеты по системе уравнений (1) с учетом функции (2) при линейном законе истирания (рыхлые породы)

№ пп.	u	$W(0)$	$W_{ст}$	t_d	$t_{ст}$	$W(100)$ ($W(t_d)$)	$S(100)$ ($S(t_d)$)	$f(100)$ ($f(t_d)$)
1	-4	50	—	10—11	—	0	31,13	4,42
2	-1	50	3,74	—	36	3,74	607,53	6,87
3	4	50	42,37	—	27—28	42,37	116,93	1,19

Критическое значение интенсивности изъятия, при котором исчезают равновесные пляжи, больше, чем в предыдущем случае (по абсолютной величине), и лежит в интервале: $-4 < u < -1$. В третьем варианте, несмотря на очень большую интенсивность подсыпки материала, объем материала убывает, стабилизируясь на уровне $W_{ст} = 42,37$ м² через 27—28 лет. Это обусловлено тем, что интенсивность истирания материала преобладает над интенсивностью поступления материала с клифа и интенсивностью подсыпки.

Сравнивая линейный и нелинейный законы истирания при $k = \frac{c}{\gamma}$ (обе кривые $\varphi(W)$ выходят из точки $W=0$ с одинаковым уклоном), видим, что стационарный объем материала при нелинейной функции $\varphi(W)$ больше, чем при $\varphi(W) = kW$ (так как кривая $\varphi(W) = \frac{cW}{\gamma + W}$ в этом случае лежит всегда ниже прямой $\varphi(W) = kW$ и, следовательно, пересекает кривую $z(W) = aHf(W) + u$ при больших значениях W). Это говорит о том, что линейный закон истирания описывает более сильную отрицательную связь в береговой системе, т. е. быстрее стабилизирует пляж на более низком стационарном уровне.

Отметим, что анализ устойчивости стационарных точек ($W_{ст}$) и критических условий деградации пляжей является самостоятельной и очень перспективной областью исследований. Об этом можно судить, если снова обратиться к табл. 1. Здесь из расчетов для $u=0$ при $W(0)=0$ и $W(0)=50$ м² (варианты три, четыре) видно, что $W_{ст} = 3,25$ м² является устойчивой точкой при достаточно широком диапазоне изменения $W(0)$. Можно показать, что эта точка единственная стационарная точка, так как кривая $aHf(W)$ пересекает кривую $\varphi(W)$ при $W \geq 0$ в единственной точке. В то же время при $u = -0,1$ м²/г. (второй вариант) существуют две положительные стационарные точки (одна, $W_{ст} = 2,91$ м², устойчивая), причем меньшая по величине является неустойчивой. Следовательно, существует небольшая область малых начальных значений объема материала ($W(0)$), из которой нельзя попасть в устойчивое стационарное состояние $W_{ст} = 2,91$ м². Это нами показано на примере расчета с нулевым начальным условием ($W(0) = 0$), что дало $W(t) < 0$ на первом же шаге счета.

Теоретический анализ устойчивости стационарных точек может проводиться на основе метода возмущений или еще проще — на основе качественного построения потенциальной функции $U(W)$ для первого уравнения системы (1), где $dW/dt = -dU(W)/dW$.

Подобные прогнозные расчеты являются особенно перспективными при управлении состоянием пляжей на многочисленных водохранилищах, которые теперь часто создаются для целей рекреации [4, 5]. Вопрос о поддержании их в устойчивом состоянии включает и оценку динамики береговых систем, рассмотренных нами в этой работе.

Список литературы

1. Московкин В. М. // Круговорот вещества и энергии в водоемах. Математическое моделирование и автоматизация лимнологических исследований: Матер. докл. к VI Всесоюз. лимнолог. совещ. Иркутск, 1985. Вып. 8. С. 39.

2. Есин Н. В., Дмитриев В. А., Московкин В. М. // Докл. АН СССР. 1983. Т. 270. № 1. С. 223

3. Есин Н. В., Московкин В. М., Окунь А. В. // Водные ресурсы. 1983. № 5. С. 92.

4. Широков В. М. Конструктивная география рек: основы преобразования и природопользования. Минск, 1985.

5. Широков В. М., Лопух П. С. Формирование малых водохранилищ гидроэлектростанций. М., 1986.

УДК 711.455.001.3

Г. Р. ПОТАЕВА

ОСОБЕННОСТИ РЕКРЕАЦИОННО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ПОЛОЖЕНИЯ ГОРОДОВ БССР

Активное развитие системы социально-географических наук, объектом изучения которых выступает взаимодействие человека с окружающей средой, привело к возникновению новых понятий, в частности, социально-географического положения объекта. Рекреационно-географическое положение — один из видов общего социально-географического положения — выступает в качестве инструмента изучения социальных полей. Рекреационно-географическое положение имеет и конструктивное значение (при составлении схем и проектов районной планировки областей и административных районов). Впервые понятие рекреационно-географического положения объектов выдвинуто И. М. Маергойзом [1], на актуальность выделения такой категории указывал и Ю. А. Веденин [2].

Рекреационно-географическое положение имеет ряд общих с экономико-географическим положением черт, однако между этими понятиями есть и существенные различия (табл. 1), прежде всего в характере отношений рассматриваемого объекта и взаимосвязанных с ним объектов и территорий. С точки зрения рекреационной географии, имеющей объектом своего исследования потенциальных отдыхающих с их рекреационными потребностями, географическое положение основывается на представлении о циклах рекреационной деятельности и их пространственной структуре как факторе, реализующем различные по продолжительности и способу использования территории потребности населения в отдыхе. Микро-, мезо- и макроположения в рекреационной географии, следовательно, отражают не территориальный, а временной масштаб рекреационной деятельности. Так как потребности и в продолжительном, и в кратковременном отдыхе могут удовлетворяться на одной и той же территории (можно наблюдать при агломерируемости различных видов отдыха в пригородных зонах городов), микро-, мезо- и макроположения могут накладываться друг на друга, различия этих видов положений определяются функциональным использованием территории.

Рекреационно-географическое положение — категория историческая, положение активно изменяется под действием внешних факторов, вслед за развитием транспорта, рекреационной инфраструктуры, систем обслуживания, изменениями природного комплекса. Примером активного изменения рекреационной среды может служить пригородная зона Минска, в которой за последние 30 лет создано 12 водохранилищ общей площадью около 4,5 тыс. га, 8 из которых используются только в рекреационных целях; на основе лесных массивов формируются лесопарки, развивается сеть рекреационных учреждений, достигая в настоящее время 38 тыс. мест. Эти преобразования существенно улучшили рекреационно-географическое положение города.

Рекреационно-географическое положение городов изменяется также вследствие развития рекреационных потребностей. Увеличение потребностей в количественном отношении и их качественные изменения требуют освоения новых рекреационных ресурсов, повышения устойчивости и емкости существующих, развития инфраструктуры.

Рекреационные потребности развиваются интенсивно, особенно в по-