

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
КОМИССИЯ ПО ПРОБЛЕМАМ МИРОВОГО ОКЕАНА

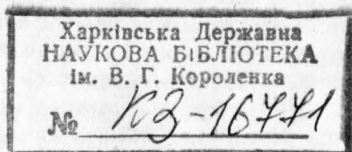
Теоретические проблемы развития морских берегов

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Ответственные редакторы:

кандидат географических наук Ю. П. ХРУСТАЛЕВ,
кандидат географических наук Ю. В. АРТЮХИН,
кандидат географических наук Е. И. ИГНАТОВ

9 127053



МОСКВА
«НАУКА»
1989

ЛИТЕРАТУРА

1. *Зенкович В. П.* Основы учения о развитии морских берегов. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 710 с.
2. *Леонтьев О. К.* Основы геоморфологии морских берегов. М.: Изд-во МГУ, 1961. 418 с.
3. *Ярмолюк В. А.* Основные черты геологического строения // Южная часть Дальнего Востока. М.: Наука, 1969. С. 21—39.
4. *Худяков Г. И.* Геоморфотектоника юга Дальнего Востока. М.: Наука, 1978. 258 с.
5. *Лихт Ф. Р.* Палеогеоморфологические реконструкции в складчатых областях. М.: Наука, 1975. 140 с.
6. *Граменицкая Н. А.* Роль разрывных нарушений при заложении речных долин в Сихоте-Алинской складчатой области // Вопросы геоморфологии и морфотектоники южной части Дальнего Востока. Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 1965. С. 84—115.
7. *Петренко В. С.* О некоторых тенденциях развития рельефа и возрасте рiasовых берегов Южного Приморья // Вопросы Географии побережий и шельфа дальневосточных морей. Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 1977. С. 116—125.
8. *Васильковский Н. П.* О дочетвертичной геологической истории Японского моря // Геологическое строение дна Японского и Филиппинского морей. Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 1979. С. 3—20.
9. *Коржуев С. С.* Предисловие // Дальний Восток и берега морей, омывающих территорию СССР. М.: Наука, 1982. С. 5—6.
10. *Каплин П. А., Курсалова В. А., Соколова Н. С.* и др. Позднеплейстоценовые и голоценовые этапы развития шельфа и побережья Приморья // Геоморфология и палеогеография шельфа. М.: Наука, 1978. С. 197—203.
11. *Короткий А. М.* Этапы становления рельефа и осадконакопление в прибрежной зоне материкового сектора Японского моря // Морская геология и геологическое строение областей питания: Японское и Охотское моря. Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 1977. С. 59—82.
12. *Марков Ю. Д.* Южноприморский шельф Японского моря в позднем плейстоцене и голоцене. Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 1983. 128 с.
13. *Никифоров Л. Г.* Последлениковское эвстатическое повышение уровня океана и его значение для развития морских побережий // Колебания уровня Мирового океана и вопросы морской геоморфологии. М.: Наука, 1975. С. 12—40.
14. *Никифоров Л. Г.* Структурная геоморфология шельфа // Геоморфология и палеогеография шельфа. М.: Наука, 1978. С. 3—8.

УДК 551.434.31.

Н. В. Есин, В. А. Дмитриев, В. М. Московкин

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ БЕРЕГОВЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Традиционная стратегия защиты берегов морей и водохранилищ от разрушающего воздействия волн состоит в уменьшении скорости отступления берега до нуля путем строительства в береговой зоне бетонных сооружений. Однако опыт показывает, что в целом «бетонная» стратегия нерациональна [1—3]. Ее практическая реализация приводит к нарушению естественного хода береговых процессов. К тому же очевидно, что одеть в бетон абразионные берега на всем их протяжении невозможно. Сейчас все больше исследователей приходит к заключению, что целе-

сообразнее снижать скорости абразии путем воздействий, имеющих характер природных процессов [1,3—6].

Если рассматривать проблему в более широком аспекте, то следует изучить возможности управления абразией и перейти от стратегии защиты берегов к стратегии управления их развитием, к регулированию скоростей абразии. Такое понимание сложившейся ситуации основано на том, что абразия является естественным природным процессом, который полностью остановить невозможно. Методы снижения скоростей абразии должны быть основаны на ее закономерностях.

Одним из управляющих воздействий, имеющих характер естественного процесса, является подсыпка в береговую зону обломочного материала. В предлагаемой работе обсуждаются некоторые положения теории управления абразией указанным путем.

Обломочный материал, находящийся в прибойной зоне моря, в абразийном процессе играет двойную роль. При большом объеме он защищает берег от действия волн, а при малом — активно его разрушает [7, 8]. Нами рассмотрена динамика абразийного процесса, протекающего с участием обломочного материала [7, 9]. Показано, что последний выполняет роль обратной отрицательной связи, возвращающей процесс из любого исходного состояния в стадию динамического равновесия. Для нее характерна полная компенсация наносов, теряющихся в результате истирания. В стадии динамического равновесия при неизменном волновом режиме скорость абразии не изменяется во времени. Эти результаты будут использованы при анализе абразийного процесса, протекающего в условиях отсыпки обломочных масс.

В случае такой задачи уравнение баланса обломочного материала можно записать в виде [7]

$$\frac{dW}{dt} = aN \frac{dL}{dt} - \frac{DW}{W+W^*} + Q, \quad (1)$$

где t — время (год); W — объем обломочного материала на единице длины берега ($\text{м}^3/\text{м}$); a — доля пляжеобразующего материала в породах, слагающих клиф; N — высота клифа (м); $dt/dt = V$ — скорость отступления клифа ($\text{м}/\text{год}$); Q — объем обломочного материала, отсыпаемого на пляж ($\text{м}^3/\text{м} \cdot \text{год}$); D, W^* — коэффициенты. Здесь объем истирающегося материала (второе слагаемое в правой части) соответствует существованию процесса ($K = D/W^*$ — коэффициент истирания при малом W ; D — объем материала, истирающегося за год на аккумулятивном берегу).

Зависимость скорости отступления клифа от W — аппроксимируем функцией [10]

$$V = B \frac{W + q}{(W + r)^2}, \quad (2)$$

где B, q, r — коэффициенты, зависящие от прочности пород, слагающих берег, и волнового режима. Они подбираются по данным натурных наблюдений за абразией.

В начальный момент времени на рассматриваемом участке берега абразия характеризуется большой скоростью отступления клифа V_0 при незначительном объеме пляжа. Необходимо перевести ее (путем подсып-

ки обломочного материала) в другое состояние (W_K, V_K) со значительным пляжем и малой (приемлемой) скоростью V_K . Решается она следующим образом. Из уравнения (2) при $V = V_K$ находится W_K . Режим подсыпки должен быть таким, чтобы в это время (время управления) берег отступил на минимальное расстояние. Когда объем пляжевого материала достигнет планируемого значения W_K , ежегодными подсыпками его следует поддерживать в таком состоянии. Объем ежегодной подсыпки, компенсирующий истирание, определяется по формуле

$$W_{\text{ист}} = \frac{D W_K}{W_K + W^*}.$$

В случае, если W_K совпадает со значением W в стадии динамического равновесия, ежегодная подсыпка не требуется — этот объем поддерживается абразией автоматически.

Рассмотрим особенности управления абразией в условиях изменения уровня моря (или тектонических движений побережья). Подсыпка обломочного материала в береговую зону, замедляя скорость отступления клифа, изменяет естественный ход процесса. В результате этого глубины в прибойной зоне увеличиваются (или уменьшаются) и соответственно возрастает (или уменьшается) сила удара волн о клиф. При составлении математической модели абразии нами принималось, исходя из вида формул для силы удара, что скорость отступления клифа пропорциональна глубине его основания [11]. Позже это предположение получило экспериментальное подтверждение [17]. В дальнейшем по данным натуральных наблюдений была установлена линейная (и близкая к линейной) зависимость V от величины подъема уровня во время шторма [12, 13]. Таким образом, сейчас уже не подлежит сомнению линейная (в первом приближении) зависимость V от глубины моря у основания клифа. Учтем это обстоятельство, записав (2) в виде

$$V = B(1 + nt) \frac{W + q}{(W + r)^2}, \quad (3)$$

где $n > 0$ и $n < 0$ в условиях соответственно повышения и понижения уровня моря.

Путем анализа решений уравнений (1), (3) рассмотрим вопрос о возможной стратегии управления скоростью абразии на примере мыса Бурнас. Параметры, характеризующие абразию этого мыса, рассчитаны по данным натуральных наблюдений [14]. Чтобы показать ход процесса при больших значениях W , мы увеличили в расчетах высоту клифа, что привело к уменьшению скорости абразии в 2—3 раза по сравнению с реальной. В уравнениях (1), (3) принято: $a = 0,02$; $N = 50$ м (реальное значение N от 5 до 13 м); $D = 60 \text{ м}^3 / \text{м} \cdot \text{год}$; $W^* = 3 \text{ м}^3 / \text{м}$; $B = 40 \text{ м} / \text{год}$; $q = 1 \text{ м}^3 / \text{м}$; $r = 3 \text{ м}^3 / \text{м}$. Начальные условия приняты такими: при $t = 0$, $L = 0$, $W = 5 \text{ м}^3 / \text{м}$. Рассмотрены случаи разовой, равномерной, равноускоренной и равнозамедленной подсыпок обломочного материала. В расчетах принималось $n = \pm 0,01 \text{ м} / \text{год}$. Принятое значение n больше реальных, характерных для побережья Черного моря значений вертикальных движений побережья (у мыса Бурнас $n = 0,005 \text{ м} / \text{год}$) [15]. Значе-

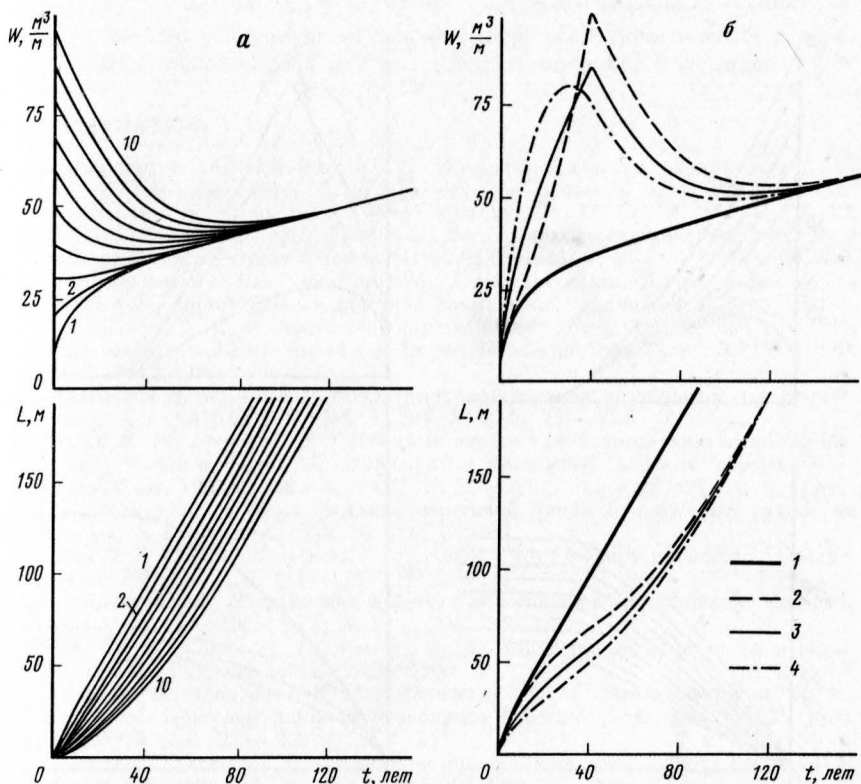


Рис. 1. Изменение во времени и в условиях относительного повышения уровня моря

а — при разовой отсыпке обломочного материала; *б* — без подсыпки (1), при равномерно ускоренной (2), равномерной (3) и равномерно замедленной (4) подсыпках. Цифрами на графиках обозначены режимы отсыпки

ние n нами сознательно завышено, чтобы более отчетливо проявились особенности абразии, протекающей в условиях изменения уровня моря.

На рис. 1 представлены графики, показывающие изменение во времени W и L . Как видно, значения W и L возрастают во времени. Это следствие усиления действия волн по мере увеличения глубин. Чтобы добиться стабилизации процесса в любом состоянии ($W_1 = const$, $V_1 = const$), надо наращивать по годам объем подсыпки обломочного материала. Другими словами, если путем создания искусственного пляжа скорость отступления берега удалось снизить до некоторого значения V_1 , то для удержания процесса в этом состоянии объем подсыпки должен возрастать по годам в арифметической прогрессии. В рассмотренном примере, чтобы скорость абразии не увеличивалась, необходимо каждый год подсыпать обломочного материала на $0,2 \text{ м}^3/\text{м}$ больше, чем в предыдущий.

Результаты расчетов хода абразии в условиях относительного пониже-

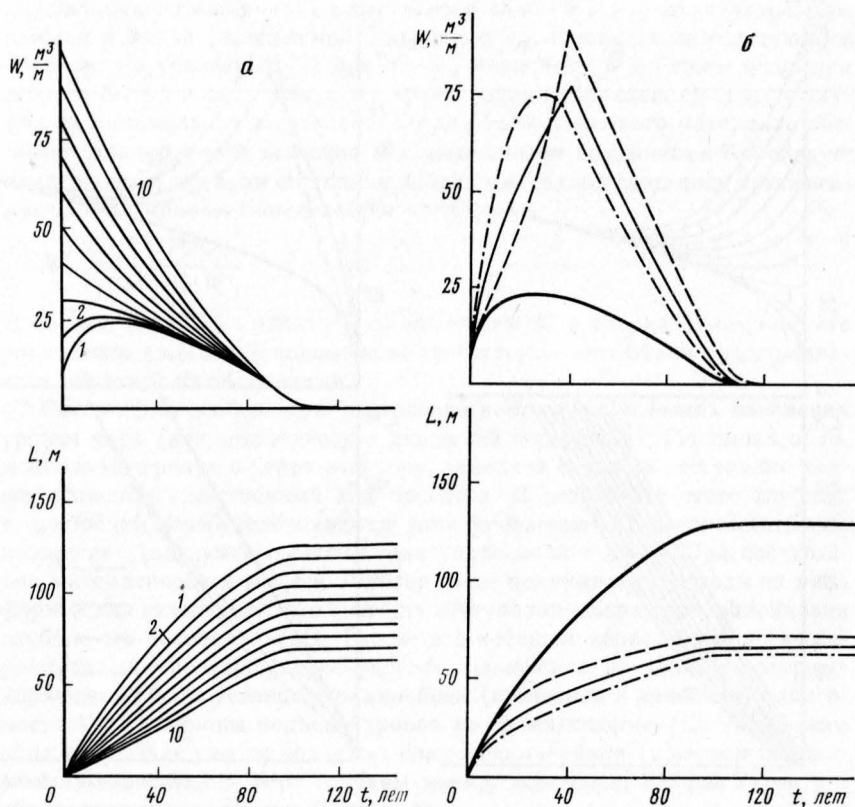


Рис. 2. Изменение во времени и в условиях относительного понижения уровня моря
Обозначения те же, что на рис. 1

ния уровня моря и при тех же режимах подсыпки показаны на рис. 2. Как известно, при понижении уровня моря наступает такой момент, когда образуется отмерший клиф и терраса начинает выходить на поверхность [16]. Наша модель описывает этот заключительный этап развития берега. Как видно, в этом случае особенности отступления клифа в зависимости от режима подсыпки примерно те же: чем скорее отсыпается данный объем обломочного материала, тем выше его берегозащитный эффект. Наиболее целесообразной является разовая и равномерно замедленная отсыпка всего обломочного материала. При таких режимах берег отступит на минимальное расстояние — 60 м (без подсыпки на 125 м) — и образуется отмерший клиф. Заключительный этап абразии характеризуется уменьшением до нуля объема пляжевого материала. Это — следствие прекращения его подачи с берега ($V \approx 0$) при продолжающемся истирании.

Отметим, что для расчета оптимальных вариантов управления эволюцией береговой линии моря может быть использована система уравнений, предложенная авторами [10].

Описанная теория управления не учитывает особенности абразии, которую можно условно назвать «инерцией». Она заключается в перестройке берегового склона при подсыпке обломочного материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мамыкина В. А., Артюхин Ю. В. Природные аспекты охраны и защиты берегов Азовского моря // Литодинамические процессы береговой зоны южных морей и ее антропогенное преобразование. Л.: ГО СССР, 1982. С. 60—72.
2. Пешков В. М. Некоторые проблемы защиты и оптимизации береговой зоны восточной части Черного моря // Изв. ВГО. 1983. Т. 115, № 4. С. 300—310.
3. Сокольников Ю. Н., Горбатенко Е. Г., Калиновский А. В., Юрин О. С. Некоторые отрицательные факторы применения традиционной бунно-волноломной стратегии в береговой гидротехнике // Литодинамические процессы береговой зоны южных морей и ее антропогенное преобразование. Л.: ГО СССР, 1982. С. 73—77.
4. Московкин В. М., Есин Н. В. Оптимальное управление абразионным процессом // Докл. АН СССР, 1985. Т. 284, № 3. С. 731—734.
5. Рудой Н. Н., Рудой Л. Н. Свободные пляжи для защиты Кавказского побережья Черного моря // Сооружения и механизмы морских портов. М.: Стройиздат, 1983. С. 36—42.
6. Ярославцев Н. А. Формирование береговой линии при отсыпке грунта на пляж // Вод. ресурсы. 1984. № 1. С. 74—80.
7. Есин Н. В. О роли обломочного материала в абразионном процессе // Океанология. 1980. № 1. С. 111—115.
8. Сафьянов Г. А. Абразионное действие обломочного материала в береговой зоне // Там же. 1965. Т. 5, № 2. С. 304—310.
9. Есин Н. В., Савин М. Т., Жиллев А. П. Абразионный процесс на морском берегу. Л.: Гидрометеониздат, 1980. 200 с.
10. Есин Н. В., Дмитриев В. А., Московкин В. М. Математическая модель эволюции береговой линии абразионного берега // Докл. АН СССР. 1983. Т. 270, № 1. С. 223—226.
11. Есин Н. В., Савин М. Т. О динамике приурезовой зоны моря // Вестн. МГУ. Сер. 5, География. 1971, № 4. С. 84—91.
12. Артюхин Ю. В., Мамыкина В. А. Изменчивость поступления материала абразии в Азовское море // Изв. Сев.-Кавк. науч. центра высш. шк. Естеств. науки. 1978. № 3. С. 79—81.
13. Шуйский Ю. Д., Губкин Н. М. Исследование скоростей абразии клифов на восточном побережье Азовского моря // Литодинамические процессы береговой зоны южных морей и ее антропогенное преобразование. Л.: ГО СССР, 1982. С. 43—51.
14. Шуйский Ю. Д., Шевченко В. Я. Динамика берегов Черного моря в районе мыса Бурнас // Геоморфология. 1975. № 4. С. 98—104.
15. Благоволин Н. С., Победоносцев С. В. Современные вертикальные движения берегов Черного и Азовского морей // Там же. 1973. № 3. С. 46—56.
16. Зенкович В. П. Основы учения о развитии морских берегов. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 710 с.
17. Sunamura T. A. Relationship between wind-induced cliff erosion and erosive force waves // J. Geol. 1977. № 5. P. 613—618.