

террасе. Так, бассейн р. Нурминки распахан более чем на 80% и скорость аккумуляции по стационарным наблюдениям (1983—1991 гг.) составила 22,1 мм/год. В то же время в бассейне рек Улемы — Колунец за этот же период при распаханности около 50% скорость аккумуляции составила всего 2,3 мм/год. Данные, полученные как в полевых, так и в стационарных условиях, показали, что усиление накопления современного наилка на поймах малых рек — следствие хозяйственного освоения бассейнов. Мощность наилка служит хорошим суммарным показателем степени преобразования естественного потенциала речного бассейна.

Анализ функционирования СБЭ позволяет относительно просто, с небольшими затратами и более объективно, провести организацию землепользования в речном бассейне (рис. 3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хортон Р. Е. Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов. М.: Изд-во иностр. лит., 1948. 156 с.
2. Бефани Н. Ф. К вопросу о теории впитывания ливневых вод в почву//Тр. Одесского ун-та: Сб. геол-геогр. ф-та. 1954. Т. 2. С. 229—249.
3. Маккаев Н. И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 346 с.
4. Караушев А. В. Общие и некоторые частные вопросы теории русловых процессов и склоновой эрозии//Тр. ГГИ. 1972. Вып. 191. С. 5—22.
5. Швевс Г. И. Теоретические основы эрозиоведения. Киев—Одесса: Вища школа, 1981. 224 с.
6. Ермолаев О. П. Количественные показатели структуры бассейновой эрозии на востоке Русской равнины//Экзогенные процессы и окружающая среда. М.: Наука, 1990. С. 121—127.
7. Дедков А. П., Мозжерин В. И. Эрозия и сток наносов на Земле. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1984. 264 с.

Казанский университет

Поступила в редакцию
28.02.92

STRUCTURE OF AREAL EROSION IN NATURAL-ANTHROPOGENIC LANDSCAPES OF DRAINAGE BASINS

O. P. ERMOLAYEV, S. G. KURBANOVA

Summary

Four zones of erosion are distinguished from the water divide downslope, differing in the character of the surface runoff and water volume; those are zones of splash erosion, incipient microrills, rills and gullies. They form together the structure of the surface erosion within a drainage basin. Studies of 300 river basins in Tatarstan provided data on characteristics of the zones of erosion and their dynamics, both long-term and seasonal. The type of erosion and percentage of each zone area within the basin are shown to depend on the cultivation degree, slopes' steepness and exposure, and rocks lithology.

УДК 551.435.31:551.4.013

Н. В. ЕСИН, С. Б. КУКЛЕВ

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ ПРОФИЛЯ БЕРЕГОВОГО СКЛОНА АБРАЗИОННОГО БЕРЕГА

В настоящее время одной из слаборазработанных является теория развития профиля подводного склона абразионного берега. Одним из первых математическую модель этого процесса предложил А. Е. Шайдеггер [1], однако его идеи не получили дальнейшего развития из-за того, что введенное им распределение по склону скоростей абразии не имело физического обоснования и противоречило данным натурных наблюдений. В последующих работах [2—6] в основу пред-

лагаемых теорий были положены закономерности распределения придонных волновых скоростей воды. В настоящей статье представлена модель, описывающая начальную (до образования клифа) стадию развития профиля абразионного берега в условиях изменения уровня бассейна.

В основу модели положены следующие закономерности, имеющие теоретическое и экспериментальное обоснование: нормальная скорость V_n разрушения дна пропорциональна квадрату максимальной придонной скорости U движения воды $V_n = \varepsilon(U^2 - U_n^2)$, где U_n — предельная скорость воды, не разрушающая данную породу; распределение максимальных волновых скоростей воды в придонном слое описывается уравнением [4]

$$\begin{aligned} U^2 &= 0,486gh^2H^{-1} & H \geq 1,28h, \\ U^2 &= 0,289gH & H < 1,28h, \end{aligned} \quad (1),$$

где h — высота волны, H — глубина моря с учетом нагона.

Отметим, что в работе [5] автор принимает V_n пропорциональной U^3 , хотя все имеющиеся экспериментальные данные свидетельствуют о том, что $V_n \sim U^2$. Более подробно этот вопрос рассмотрен в монографии [3].

Для описания волнового нагона в прибойной зоне используем уравнение Лонге-Хиггинса [7]

$$\frac{v\zeta}{vx} = -k \frac{vZ}{vx}, \quad (2),$$

где $\zeta = \zeta(x, t)$ — величина волнового нагона, отсчитываемого от уровня воды во время штиля; $k = 0,12 + 0,27$ (в зависимости от характера деформации волн); $Z = Z(x, t)$ — профиль берегового склона.

Если начало координат выбрать на невозмущенной поверхности воды (ось Z направлена вверх, а ось x — в сторону суши) и учесть соотношения $V_n = -\frac{vZ}{vx} \left[1 + \left(\frac{vZ}{vx} \right)^2 \right]^{-0,5}$, то окончательно задача об эволюции профиля абразионного берега сведется к решению следующих уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{vZ}{vt} &= -\varepsilon(U^2 - U_n^2) \left[1 + \left(\frac{vZ}{vx} \right)^2 \right]^{-0,5} & \text{при } U > U_n, \\ \frac{vZ}{vt} &= 0 & \text{при } U \leq U_n, \\ \frac{v\zeta}{vx} &= -k \frac{vZ}{vx} \end{aligned} \quad (3)$$

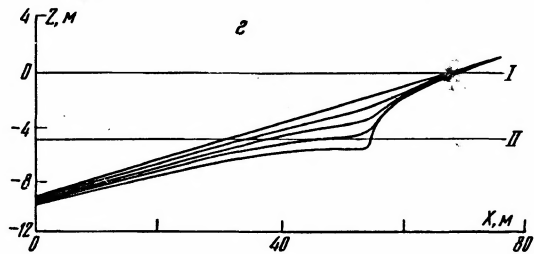
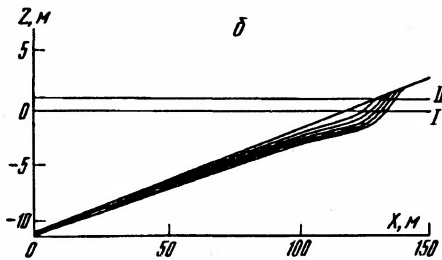
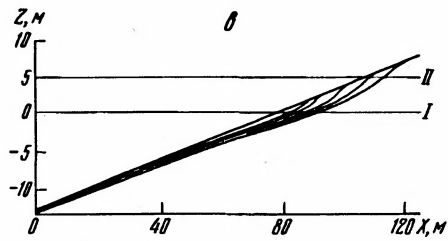
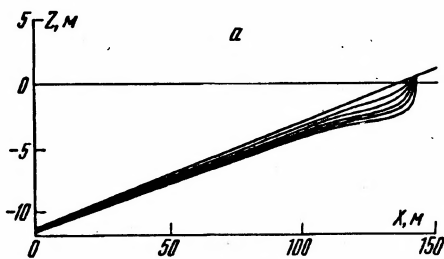
$$U^2 = 0,486gh^2[Z - S(t)]^{-1} \quad \text{при } Z \geq 1,28h$$

$$U^2 = 0,289g[Z - S(t) - \zeta] \quad \text{при } Z < 1,28h,$$

где $S(t) = vt$ — изменение уровня бассейна во времени. Деформация волн ради упрощения модели не учитывается.

По модели (1) выполнены расчеты для случая неизменного уровня моря ($S(t) = 0$). Результаты расчетов представлены на рисунке (а). В условиях неизменного уровня бассейна в зоне мористее линии разрушения волн формируется выпуклый профиль бенча, что согласуется с качественной теорией абразионного процесса. В зоне заплеска уклон бенча во времени увеличивается, и в итоге здесь образуется клиф. Учитывая, однако, что по мере формирования клифа происходит перераспределение придонных волновых скоростей, для описания эволюции профиля берегового склона и клифа следует применять несколько иную модель [3].

Рассмотрим эволюцию подводного склона в условиях изменения уровня. На рисунке (б) приведены результаты расчетов в случае медленного подъема уровня.



Формирование профиля подводного склона для различных скоростей изменения уровня бассейна, мм/год:

$a - v = 0$; $b - v = 1$; $d - v = 5$; $e - v = -5$.

Цифрами на графиках обозначен уровень бассейна: I — начальный, II — конечный

Для этого варианта были выбраны параметры $v = 1$ мм/год; $\frac{vZ}{vt} = 1$ мм/год.

Согласно расчетам процессы протекают здесь следующим образом. На первой стадии формируется профиль с большими уклонами дна в зоне обрушения волн. Поскольку уровень поднимается, эта зона перемещается в сторону суши с дальнейшим увеличением уклонов. Спустя некоторое время, наступает динамическое равновесие, характеризующееся тем, что сформировавшийся профиль перемещается в сторону суши параллельно самому себе. В зоне мористее линии опрокидывания волн береговой профиль близок к прямолинейному. Его уклон меньше уклона исходного склона. При этом чем меньше скорость повышения уровня бассейна, тем меньше уклон формирующегося берегового склона.

В условиях же быстрого подъема уровня клиф не образуется. Происходит формирование профиля, линейного в прибрежной части (рисунок (a)). Профиль берегового склона, вышедший из зоны действия волн, близок к прямой линии. Его уклон близок к уклону начального склона.

На рисунке (e) приведены результаты расчетов для варианта понижения уровня бассейна ($S(t) = -vt$). В этом случае происходит формирование клифа в приузловой зоне. Мористее формируется все более выполаживающийся профиль, типичный для абразионной террасы.

В заключение отметим некоторые преимущества данной модели перед одной из последних, предложенных И. О. Леонтьевым [5]. Во-первых, модель (3) не дает разрыва в точке обрушения волн. Это достигается тем, что, хотя в зоне деформации волн и прибойной зоне максимальные придонные скорости определены различными выражениями, в точке опрокидывания выполнено условие склейки скоростей. Во-вторых, при моделировании процесса в условиях изменения уровня бассейна не надо (в отличие от модели Леонтьева) задавать никаких ограничений на расчетную область. Однако предлагаемая модель (3) в полной мере не учитывает ряда факторов, вносящих определенный вклад в абразионный процесс. Дальнейшее совершенствование модели должно происходить на основе использования новых данных о гидродинамике береговой зоны и учета роли наносов в береговых процессах.

1. *Sheidegger A. E.* Marine terraces // *Geofis. pura appl.* 1962. V. 52. P. 140—165.
2. *Есин Н. В.* Прогнозирование размывов подводного склона // Экспериментальные и теоретические исследования процессов береговой зоны. М.: Наука, 1965. С. 140—149.
3. *Есин Н. В., Савин М. Т., Жиляев А. П.* Абразионный процесс на морском берегу. М.: Гидрометеониздат, 1980. 200 с.
4. *Есин Н. В.* Развитие профиля абразионного берега // Проблемы развития морских берегов. М., 1989. С. 26—29.
5. *Леонтьев И. О.* Количественный анализ эволюции профиля абразионного берега // Проблемы развития морских берегов. М., 1989. С. 30—37.
6. *Sunamura T.* A predicative model for wave-induced erosion with application to Pacific coasts of Japan // *J. Geol.* 1982. V. 90. № 2. P. 167—178.
7. *Longuet-Higgins M. S.* Longshore currents generated by obliquely incident sea waves // *J. Geophys. Res.* 1970. V. 75. № 3. P. 6778—6789.

Южное отделение
Института океанологии РАН

Поступила в редакцию
18.03.92

A MATHEMATICAL MODEL OF THE SLOPE PROFILE EVOLUTION OF WAVE-CUT COAST

N. V. ESIN, S. B. KUKLEV

Summary

A mathematical model is developed for coastal slope profile evolution. Results of calculation are given using the model applied to different variants of the water level changes in the basin.

УДК 551.4(265.72)

Г. И. РЕЙСНЕР, В. П. ЧИЧАГОВ

СОВРЕМЕННЫЕ ЭНДОГЕННЫЕ РЕЖИМЫ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ (Южно-Китайское море и смежные территории)

Юго-Восточная Азия — уникальный природный регион, характеризующийся полным набором геоморфологических объектов от высоких гор и плато, эпиплатформенных и прибрежных равнин в континентальной части до обширных подводных шельфовых равнин, материкового склона и глубоководной впадины Южно-Китайского моря, островов Филиппин и Индонезии. Эти геоморфологические образования представляют единую сложно организованную природную систему, испытавшую длительную историю развития. Для понимания и объяснения генерального направления развития природы региона существенный интерес представляет состояние его геодинамической активности в современную эпоху. Едва ли не решающим в этой проблеме является ответ на вопрос о способе формирования глубоководной впадины Южно-Китайского моря. Действительно, одно дело, если она сформировалась в условиях преобладания растяжения, раздвига земной коры или спрединга, другое — если впадина образовалась в результате быстрого погружения участка земной коры. В первом случае, исходя из постулатов глобальной тектоники литосферных плит, следует ожидать в пределах впадины Южно-Китайского моря формирование земной коры океанического типа. Во втором — представляется вполне возможным допустить быстрые тектонические опускания участков континентальной земной коры. В научной литературе по геологии, тектонике, геофизике и геоморфологии Юго-Восточной Азии вполне определенно просматриваются эти два подхода и соответствующие им две научные концепции.