

САВИН М. Т., ЕСИН Н. В.

О ВЛИЯНИИ ТЕКТОНИЧЕСКОГО ПОГРУЖЕНИЯ ПОБЕРЕЖЬЯ НА ЗАКОНОМЕРНОСТИ АБРАЗИОННОГО ПРОЦЕССА

Одним из вопросов, слабо освещенных в литературе, является оценка влияния скорости тектонического опускания побережья на интенсивность абразии морских берегов и закономерности их развития. Возможная причина этого состоит в большой сложности абразийного процесса, протекающего, как правило, под воздействием многочисленных факторов различной природы. Поэтому количественно оценить роль каждого из них по данным натурных наблюдений не представляется возможным. Более перспективен здесь метод математического моделирования процесса, так как он позволяет «...с необходимой полнотой учесть любые факторы, в том числе и неволновые (колебания уровня, ветроволновой нагон и пр.), причем влияние их может быть рассмотрено как совместно, так и порознь. Последнее обстоятельство делает аналитические методы хорошим инструментом не только для прогнозирования, но и для исследования береговых процессов» (Попов, 1969, стр. 186).

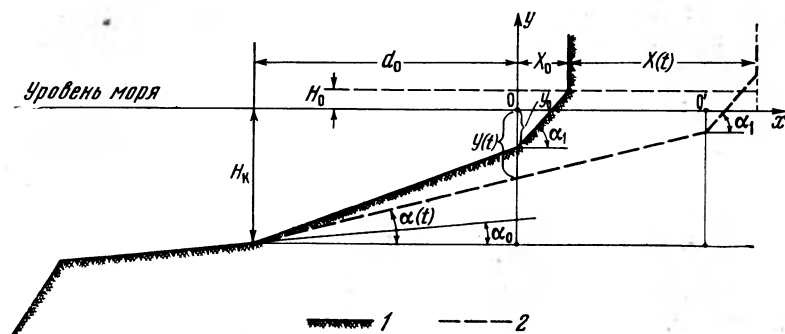


Рис. 1. Схема развития абразийного профиля

1 — абразийный профиль при $t=0$; 2 — абразийный профиль при некотором $t=t_1$

В настоящей статье для анализа влияния скорости тектонического погружения побережья на скорость отступления берега применена математическая модель в виде системы двух дифференциальных уравнений, подробно описанная в ряде работ авторов (Есин, Савин, 1971) и в кандидатской диссертации М. Т. Савина (1975). Применительно к рассматриваемому случаю эволюции берега (рис. 1) система уравнений имеет вид

$$\begin{aligned} \frac{dX}{dt} &= K [\bar{H}(t) + a] [B_n - B(t)], \\ \frac{dY}{dt} &= -K_1 \tau (B_n - B(t)) [H_n + Y(t)], \end{aligned} \quad (1)$$

где: $\bar{H}(t) = H(t) + H_{отн}$;

$$H(t) = H_0 - X_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 + Y(t) + \frac{[X(t) - X_0] [H_k + Y(t)]}{d_0};$$

$$H_{отн} = H_{тект} + H_{эвст}; \quad H_{тект} = \pm ut;$$

$$H_{эвст} = A [\cos(\omega t - \varphi) - 1];$$

$$a = 3,8 \cdot k \cdot Y_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1, \quad k = 0,7 \div 1,0;$$

$$B_{\Pi} = [H_k + Y_0 + H_{\text{отн}}] \cdot \text{ctg } \alpha_0;$$

$$\tau = \tau_0 \cdot \left[\frac{\kappa}{\kappa + \text{ctg}^2 \alpha(t) [\bar{H}(t) - Y_0/2]^2} + 1 \right];$$

$$\kappa = \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} l^2, \quad l = a \cdot \text{ctg } \alpha_1, \quad 0 < \varepsilon < 1,$$

$$\text{tg } \alpha(t) = \frac{H_k + Y(t)}{d_0};$$

$$H_{\Pi} = H_k - d_0 \cdot \text{tg } \alpha_0.$$

K и K_1 — коэффициенты пропорциональности, характеризующие размываемость пород (определяются по данным натурных наблюдений).

Здесь обозначено: t — время; $X(t)$ — расстояние до клифа от точки, принятой за начало координат; X_0 — это же расстояние при $t=0$; $Y(t)$ — глубина бенча в точке начала координат; Y_0 — глубина при $t=0$; H_0 — штормовой нагон; $\text{tg } \alpha_1$ — уклон прибойной зоны; $\text{tg } \alpha_0$ — уклон предельного заложения береговой отмели; d_0 — ширина береговой отмели при $t=0$; $H_{\text{тект}}$ — изменение глубины за счет тектонического опускания побережья; u — скорость тектонического опускания (знак плюс) или поднятия (знак минус); $H_{\text{эвст}}$ — изменения относительной глубины за счет эвстатических колебаний уровня; A — амплитуда этих колебаний; ω — их частота; a — высота заплеска; B_{Π} — предельная ширина абразионной отмели; H_k — предельная глубина абразионного действия волн при данном уровне; τ — гидродинамические напряжения на бенче; τ_0 — то же, в условиях отсутствия клифа; l — ширина заплеска; $\text{tg } \alpha(t)$ — уклон абразионной отмели в процессе ее развития; H_{Π} — предельная глубина размыва в точке начала координат.

Система уравнений (1) позволяет производить расчеты эволюции абразионного профиля на длительные отрезки времени и дает возможность оценить влияние на этот процесс тектонического опускания побережья. На рис. 2 представлены результаты расчетов, выполненных для

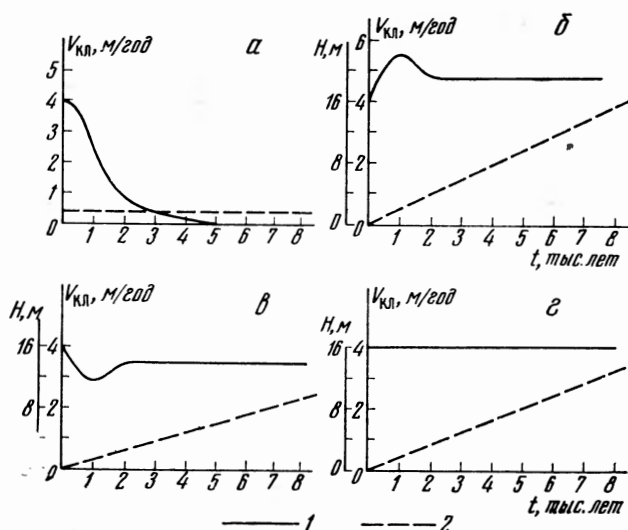


Рис. 2. Изменение скорости отступления клифа (1) в зависимости от закономерностей изменения уровня (2):

$a - H_{\text{тект}} = 0$; $б - H_{\text{тект}} = ut$, $u = 1,9 \text{ мм/год}$; $в - H_{\text{тект}} = ut$, $u = 1,2 \text{ мм/год}$; $г - H_{\text{тект}} = ut$, $u = 1,6 \text{ мм/год}$

абразионного участка восточного побережья Азовского моря (район г. Приморско-Ахтарска). Но прежде чем перейти к анализу этих результатов, отметим, что данные наблюдений за абразией в этом районе в течение длительного времени (с 1926 г.), а также данные периодических землемерных съемок позволяют сделать вывод, что средняя скорость отступления берега здесь составляет в настоящее время 3,5—4 м/год (Губкин, 1973). Скорость тектонического опускания берега здесь, согласно последним литературным данным, равна 1,9—2 мм/год (Благоволин, Победоносцев, 1973; Благоволин, 1975).

Численные решения системы уравнений (1) проводились при различных значениях величины u (прочие параметры не изменялись). На рис. 1, а показан результат расчета для случая, когда скорость тектонического опускания равна нулю ($u=0$). Видно, что скорость отступления берега в этих условиях монотонно уменьшается от максимального значения 4 м/год (в настоящее время) до нуля при достаточно большом t . Такой результат полностью совпадает с известными (Зенкович, 1946) теоретическими выводами о затухании темпов абразии и стабилизации берега при постоянном уровне. В этих условиях вырабатывается профиль равновесия.

Расчеты для случая тектонического опускания побережья с реальной скоростью, равной 1,9 мм/год показывают (рис. 1, б), что скорость отступления клифа в этом случае в первое время несколько увеличивается, а затем стабилизируется, и берег будет все время отступать с постоянной скоростью, равной примерно 4,8 м/год. Если бы побережье опускалось здесь со скоростью 1,2 мм/год, то скорость абразии была бы несколько меньше, чем в предыдущем случае (рис. 2, в).

Сравнение кривых рис. 2 (а—в) показывает, что с увеличением значения u возрастает скорость абразии. Помимо этого, что более важно, в условиях тектонического опускания побережья принципиально изменяется характер абразионного процесса. Если при относительном неизменном уровне ($u=0$) берег в конечном итоге стабилизируется, то в условиях равномерного опускания становится постоянной скорость отступления берега, а профиль равновесия не образуется вообще. В первом случае мы имеем дело со стабилизацией в статическом ее понимании, а во втором — в динамическом понимании (реакция процесса такова, что скорость отступления берега приходит в соответствие с темпом его опускания).

На наш взгляд, в стадии динамической стабилизации (относительно тектонических движений) находятся некоторые участки побережья Азовского моря. Абразионные процессы здесь протекают длительное время, берег сложен сравнительно легко размываемыми породами, тектонические движения побережья носят унаследованный характер и их можно распространять на длительные отрезки времени (Леонтьев, 1961). Значительные, неумещающиеся скорости отступления берега свидетельствуют о соответствии темпов абразионного процесса скорости тектонического опускания побережья.

Интересно отметить следующее. Если исходить из предпосылки о динамической стабилизации берега в районе г. Приморско-Ахтарска, имеющей достаточно серьезное физическое обоснование, то тогда есть основания заключить, что скорость тектонического опускания здесь должна быть равной не 1,9 мм/год, а примерно 1,6 мм/год. Расчеты показывают (рис. 2, г), что этому значению u соответствует реально наблюдающаяся здесь скорость отступления берега (4 м/год).

Таким образом, система (1) не только позволяет провести прогностические расчеты эволюции абразионного берега с учетом его тектонических движений. При известных надежных значениях скорости современного отступления берега она дает возможность получить представление и о скорости тектонического опускания (поднятия).

В заключение сформулируем основные выводы.

1. Подтверждается, что тектонические движения побережья влияют на закономерности абразионного процесса и его интенсивность.

2. Скорость отступления берега зависит от скорости тектонического опускания побережья: чем больше значение u , тем больше скорость абразии.

3. Береговая линия моря чутко реагирует на пространственные флуктуации величины u . На участках, где при прочих равных условиях u имеет минимальное значение, образуются мысы, а там, где максимальные значения — центры бухт. В целом, если побережье сложено однородной породой, очертания береговой линии могут дать представление о масштабах пространственных флуктуаций скорости тектонического опускания.

ЛИТЕРАТУРА

- Благоволин Н. С., Победоносцев С. В. Современные вертикальные движения берегов Черного и Азовского морей. «Геоморфология», № 3, 1973.
- Благоволин Н. С. Морфоструктуры и современные вертикальные движения земной коры. В сб. «Земная кора и история развития Черноморской впадины». М., «Наука», 1975.
- Губкин Н. М. Разрушение восточных берегов Азовского моря и возможные меры борьбы с ним. «Геоморфология», № 1, 1973.
- Есин Н. В., Савин М. Т. О динамике приустьевой зоны моря. «Вестн. МГУ. География», № 3, 1971.
- Зенкович В. П. Динамика и морфология морских берегов. М., «Морской транспорт», 1946.
- Леонтьев О. К. Основы геоморфологии морских берегов. М., Изд-во МГУ, 1961.
- Попов Б. А. Теоретические основы прогнозирования волновой абразии берегов. В сб. «Труды совещания по изучению берегов водохранилищ и вопросы дренажа в условиях Сибири». Новосибирск, 1969.
- Савин М. Т. Процесс абразии и методы его описания. Автореф. канд. дис. М., 1975.

Южное отделение
Института океанологии
АН СССР

Поступила в редакцию
26.XII.1975

ON THE IMPACT OF THE TECTONIC SUBSIDENCE OF COAST ON ABRASION REGULARITIES

SAVIN M. T., ESIN N. V.

Summary

Impact of tectonic subsidence on sea coast evolution was studied with reference to development of eastern abrasional coasts of the Azov Sea. Tectonic subsidence has been proved not only to accelerate the coast abrasion but to change the character of the process: while under conditions of constant sea level the shore abrasion terminates in equilibrium profile, there is no natural stabilization of the coastline under subsidence conditions, the coastline constantly retreats with the rate increasing as the tectonic subsidence accelerates.