

РЕЦЕНЗИЯ

УДК 551.345

РЕЦЕНЗИЯ НА СТАТЬИ С.О. РАЗУМОВА В ЖУРНАЛЕ „КРИОСФЕРА ЗЕМЛИ”  
О МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕРМОАБРАЗИИ БЕРЕГОВ  
АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

Ф. Э. Арэ

*Петербургский государственный университет путей сообщения,  
190031, Санкт-Петербург, Московский просп., 9, Россия*

REVIEW OF S.O. RAZUMOV'S PAPERS ABOUT MATHEMATICAL MODELING  
OF ARCTIC SEA SHORE THERMOABRASION, PUBLISHED IN THE JOURNAL „EARTH CRYOSPHERE”

F. E. Are

*Petersburg State University of Means of Communications,  
190031, Saint-Petersburg, Moskovsky prosp., 9, Russia*

В 2001–2003 гг. журнал „Криосфера Земли” опубликовал серию статей С.О. Разумова о прогнозировании разрушения берегов арктических морей, сложенных многолетнемерзлыми рыхлыми отложениями [2001а,б, 2002, 2003]. Прогнозирование динамики морских берегов актуально в связи с ожидаемым потеплением климата, а также для решения инженерных задач. До настоящего времени не было удовлетворительных методов прогноза, поэтому в принципе работы С.О. Разумова можно только приветствовать. Но, к сожалению, недостатки изложения материала в рассматриваемых статьях вызывают ряд вопросов, а некоторые принципиальные положения, на которых основаны предлагаемые методики прогнозирования, вызывают возражения.

В основе разработанного С.О. Разумовым метода прогноза [1996] лежит эмпирическая зависимость

$$V_3 = \frac{\Pi}{K_S}, \quad (1)$$

где  $V_3$  – скорость отступления берега;  $\Pi$  – условный показатель абразионной активности моря, учитывающий продолжительность безледного периода, параметры ветра и волнения;  $K_S$  – коэффициент сопротивления берега воздействию моря, учитывающий мерзлотно-геологическое строение берега и высоту клифа. Таким образом, формула (1) не учитывает фактор первостепенной важности – динамику наносов на подводном береговом склоне и

потому в целом не адекватно отражает процесс термоабразии берегов.

Величины  $\Pi$  и  $K_S$  положительные. Их можно вычислить для любого участка берега. Поэтому, согласно (1), все берега рассматриваемого типа отступают. Однако на низменных побережьях арктических морей наблюдаются не только отступающие, но и стабильные берега, что формула (1) не учитывает.

Показатель абразионной активности моря изначально определен С.О. Разумовым [1996] как отношение  $T \cdot E / T_0 \cdot E_0$ , где  $T, E$  – продолжительность термоабразионного процесса и поток волновой энергии для участка берега с неизвестной скоростью отступления соответственно;  $T_0, E_0$  – те же показатели для эталонного участка с известной скоростью. Таким образом, формула (1) предназначена для определения скорости отступления берегов путем сравнения с известной скоростью эталонного участка. Однако С.О. Разумов не объясняет, как учесть различия коэффициентов сопротивления  $K_S$  на сравниваемых участках берега.

Если на участке берега с неизвестной скоростью отступления произведение  $T \cdot E$  окажется равным  $T_0 \cdot E_0$ , то показатель абразионной активности  $\Pi = 1$  и  $V_3 = 1/K_S$ , т. е. скорость отступления берега определяется только высотой клифов и размываемостью слагающих берег отложений. Но эти параметры на расчетном и эталонном участках берега могут быть разными.

Непонятны принципы суммирования в формулах (5)–(7) из работы [Разумов, 2002, с. 37], в частности, из-за того, что не объяснено значение символа  $L$ . Неясно, зачем требуется вычислять длину разгона волн по их длине, скорости ветра и глубине моря (формула (7)), если на той же с. 37 сказано, что длина разгона волн равна расстоянию от кромки дрейфующих льдов до берега, которое известно.

Коэффициент сопротивления берега воздействию моря  $K_S$ , по С.О. Разумову, прямо пропорционален безразмерной высоте берегового уступа  $H$  в степени 0,4:

$$K_S = \frac{H^{0,4}}{\chi}. \quad (2)$$

В формуле (2)  $\chi$  – коэффициент неустойчивости берега. Согласно (2), при  $H = 0$  коэффициент сопротивления  $K_S = 0$ . При этом формула (1) дает бесконечно большую скорость отступления берега, что принципиально неверно, так как при высоте клифа, равной нулю, для отступления берега необходим размыв подводного берегового склона, который формулой (1) не учитывается.

Согласно (1) и (2), скорость отступления берегов обратно пропорциональна высоте клифов в степени 0,4. Такая четкая зависимость скорости отступления от высоты клифов не наблюдается в природе, потому что термоабразия берегов – процесс многофакторный. Достаточно взглянуть на очертание береговой линии вдоль берега переменной высоты, чтобы убедиться в том, что оно мало реагирует на высоту береговых уступов. Слабая корреляция между скоростью отступления берегов и высотой береговых уступов установлена специальными исследованиями [Dick, Zeman, 1983; Sunamura, 1983; Nequette, Barnes, 1990], но С.О. Разумов игнорирует результаты этих исследований.

В связи с изложенным выше диаграмма зависимости  $K_S$  от высоты клифов на рис. 1 в [Разумов, 2002], которая демонстрирует высокую корреляцию этих двух величин, вызывает недоверие, тем более что автор не объясняет подробно, где и как получены точки, нанесенные на диаграмму. Рассмотренные недостатки методики, разработанной С.О. Разумовым, неизбежно отрицательно скажутся на результатах прогнозов, выполненных с ее использованием.

В качестве примера рассмотрим выполненную С.О. Разумовым оценку влияния многолетних колебаний средней летней температуры воздуха на скорость отступления берегов. По его расчетам с использованием обсуждаемой методики при понижении средней летней температуры воздуха на 1 °С скорость отступления льдистых берегов в восточных арктических морях России уменьшится

на 1,8–2,3 м/год [Разумов, 2003]. Известно, что в Арктике преобладающие скорости отступления берегов составляют от 2 до 6 м/год. Таким образом, получается, что достаточно понижения средней летней температуры на 3 °С, для того чтобы большая часть арктических берегов стабилизировалась. С этим нельзя согласиться.

В данном случае С.О. Разумов снова переоценивает влияние одного фактора на развитие многофакторного процесса разрушения берегов. Летние температуры воздуха, несомненно, влияют на разрушение арктических берегов, но это влияние косвенное и далеко не такое сильное, как считает С.О. Разумов. При повышении летних температур увеличиваются продолжительность безледного периода и расстояние до границы дрейфующих льдов, т. е. длина разгона волн. Но высота, а следовательно, и энергия волн в большинстве районов восточной Арктики России лимитируется не длиной разгона, а глубиной мелководного моря. Увеличение продолжительности безледного периода также не может оказать большого влияния на разрушение берегов, потому что наибольшую роль в разрушении берегов играют осенние предледоставные штормы.

Оценивая возможное влияние летней температуры воздуха на отступление берегов, полезно, в частности, обратить внимание на то, что средняя летняя температура воздуха на Анабаро-Оленекском побережье моря Лаптевых примерно на 8 °С ниже, чем в районе мыса Крестовского в Восточно-Сибирском море. Но скорости отступления сходных по мерзлотно-геологическим и геоморфологическим условиям берегов в обоих районах в целом различаются мало, а на отдельных участках Анабаро-Оленекского побережья они значительно выше, чем на мысе Крестовском [Арз, 1985].

Слабое влияние летних температур воздуха на разрушение арктических берегов подтверждается результатами исследований С.А. Огородова [2004], который провел анализ корреляционных связей динамики берегов с гидрометеорологическими параметрами в Печорском и Карском морях по данным натурных измерений за последние 20 лет. С.А. Огородов пришел к выводу, что корреляционная связь между скоростью отступления берегов и температурным режимом безледного периода крайне низкая или полностью отсутствует.

Недостатки рассматриваемой методики прогнозирования термоабразии берегов можно наглядно проиллюстрировать на примере острова Муостях в море Лаптевых. Остров представляет собой узкую полосу суши длиной около 7 км и шириной не более 0,5 км, вытянутую в субмеридиональном направлении и сложенную ледовым комплексом. Высота острова постепенно уменьшается от 26 м в

северной части до 6 м на юге. Остров известен тем, что его северная оконечность разрушается с рекордной для Российской Арктики средней скоростью около 13 м/год [Grigoriev et al., 2003].

Применение формулы (1) для вычисления скорости отступления берегов острова покажет, что его берега отступают на всем своем протяжении. В действительности западный берег преимущественно стабилен. Стабильна и южная часть восточного берега. Скорость отступления восточного берега постепенно уменьшается в южном направлении до нуля в южной части острова, несмотря на уменьшение высоты клифов более чем в 4 раза. Главная причина несоответствия результатов расчетов и действительности в данном случае заключается в том, что методика С.О. Разумова не учитывает динамику наносов на подводном береговом склоне. Продукты разрушения северной оконечности острова транспортируются вдоль восточного берега на юг и там аккумулируются, защищая берег от разрушения. Аналогично избыток наносов на западном подводном береговом склоне гасит энергию волнения, поступающую к этой части берега.

Изложенный краткий анализ методики прогнозирования термоабразии морских берегов, разработанной С.О. Разумовым, показывает, что эта методика не учитывает одну из главных составляющих многофакторного процесса термоабразии – динамику наносов на подводном береговом склоне, переоценивает роль отдельных факторов в развитии термоабразии и недостаточно проработана в деталях. Методика нуждается в коренном усовершенствовании и в настоящем ее виде не может быть рекомендована для прогнозирования динамики арктических берегов.

## Литература

- Арэ Ф.Э. Основы прогноза термоабразии берегов. Новосибирск, Наука, 1985, 172 с.
- Огородов С.А. Динамика абразионных берегов, сложенных малольдистыми дисперсными отложениями, в глобальных изменениях природной среды и климата // Прибрежная зона моря: морфолитодинамика и геоэкология: Материалы конф. / Отв. ред. В.В. Орленок. Калининград, Изд-во КГУ, 2004, с. 51–52.
- Разумов С.О. Динамика морских термоабразионных берегов в связи с особенностями мерзлотно-климатических условий (на примере Колымского залива Восточно-Сибирского моря): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Якутск, 1996, 24 с.
- Разумов С.О. Моделирование эрозии берегов арктических морей в меняющихся климатических условиях // Криосфера Земли, 2001а, т. V, № 1, с. 53–60.
- Разумов С.О. Моделирование термоабразии льдистых берегов арктических морей в стационарных климатических условиях // Криосфера Земли, 2001б, т. V, № 4, с. 50–58.
- Разумов С.О. Модель динамики льдистых берегов с переменными составляющими абразионной активности моря в нестационарных климатических условиях // Криосфера Земли, 2002, т. VI, № 3, с. 35–44.
- Разумов С.О. Модель эрозии льдистых морских берегов в условиях многолетних колебаний средней летней температуры воздуха и стационарной повторяемости штормов // Криосфера Земли, 2003, т. VII, № 4, с. 39–50.
- Dick T.M., Zeman A. Coastal processes on soft shores // Proc. of Canadian Coastal Conf. National Res. Counsel of Canada, Ottawa, 1983, p. 19–35.
- Grigoriev M.N., Are F.E., Hubberten H.-W. et al. Onshore coastal studies – coastal dynamics at key sites of the New Siberian Islands, Dmitry Laptev Strait, and Buor-Khaya Bay // Rep. on Polar and Marine Res., 2003, vol. 466, p. 326–329.
- Hequette A., Barnes P.W. Coastal retreat and shoreface profile variations in the Canadian Beaufort Sea // Marine Geology, 1990, vol. 91, p. 113–132.
- Sunamura T. Processes of sea cliff and platform erosion // Handbook of coastal processes / Ed. P.D. Komar. Fl., CRC Press, 1983, p. 233–265.

Поступила в редакцию  
14 марта 2005 г.