

ТЕРМОАБРАЗИЯ БЕРЕГОВ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ И ЕЕ ВКЛАД В БАЛАНС НАНОСОВ МОРЯ

Ф.Э. Арэ

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

Термоабразия берегов является одним из процессов, поставляющих наносы с континента в море, и таким образом участвует в формировании баланса наносов как шельфовых морей, так и Арктического бассейна. Для определения количества наносов, поставляемых термоабразией в море, необходимы карты динамики берегов. Такая карта составлена для моря Лаптевых. На ее основе проведены ориентировочные расчеты количества наносов, поставляемых в море берегами, отступающими под действием термоабразии. Это количество сопоставлено с опубликованными данными о твердом стоке рек, впадающих в море Лаптевых. Результаты сравнения показали, что разрушающиеся берега и реки поставляют в море Лаптевых количество наносов одного порядка. Весьма вероятно, что вклад берегов превосходит вклад рек.

Арктические моря, термоабразия берегов, твердый сток рек, баланс наносов

THE THERMOABRASION OF LAPTEV SEA SHORES AND ITS INPUT INTO SEDIMENT BALANCE OF THE SEA

F.E. Are

Petersburg State University of Means of communications, 190031, St. Petersburg, Moskovskii pr., 9, Russia

The thermoabrasion is one of the processes supplying coastal sediments into the sea. So thermoabrasion takes part in formation of sediment balance of shelf seas and Arctic basin as well. The shore dynamics maps are needed for calculation of sediments the amounts supplied into the sea by thermoabrasion. Such a map is compiled for the Laptev Sea. Tentative calculations of the amount of sediments supplied into the sea due to retreat of thermoabrasion shores are carried out using this map. This amount is compared with the published data on sediment discharge of the main rivers falling into the Laptev Sea. The results of comparison showed that thermoabrasion shores and rivers supply into the sea the amount of sediments of the same order. It is quite probable that shores the input of exceeds the input of rivers.

Arctic seas, shore thermoabrasion, river sediment discharge, sediment balance

ВВЕДЕНИЕ

Несколько тысяч километров берегов арктических морей разрушаются и отступают со скоростью до 10 м/год. На участках интенсивного разрушения наиболее часто наблюдаются скорости от 2 до 6 м/год [Арэ, 1985; Barnes et al., 1991]. Таким образом несколько десятков квадратных километров арктического побережья ежегодно поглощаются морем. По существу это особый вид трансгрессии моря при его постоянном уровне.

Очевидно, что разрушение берегов необходимо учитывать в хозяйственной деятельности на побережье. Этот процесс также играет большую роль в эволюции природной среды Арктики. В частности, термоабразия берегов является одним из процессов, поставляющих наносы с континента в море, и таким образом участвует в формировании баланса наносов как шельфовых морей, так и Арктического бассейна. Но эта роль

термоабразии до сих пор не получила надежной количественной оценки.

Для определения количества наносов, поставляемых термоабразией в море, необходимы карты динамики берегов. Такие карты в масштабе 1 : 50 000 составлены для 650 км северных берегов Аляски [Reimnitz et al., 1988; Barnes et al., 1991]. На картах показаны территории, поглощенные морем за 30 лет, и средние многолетние скорости отступления берегов. В пояснительных записках к картам приведены вычисленные средние годовые величины количества наносов, поступающих в море вследствие термоабразии берегов. Аналогичные карты могут быть составлены и для арктических берегов России. Эта работа потребует очень больших затрат труда и времени. В качестве первого приближения автором составлена схематическая карта динамики берегов моря Лаптевых с использо-

ванием только опубликованных данных (см. рисунок) и проведены ориентировочные расчеты поставки наносов в море отступающими берегами.

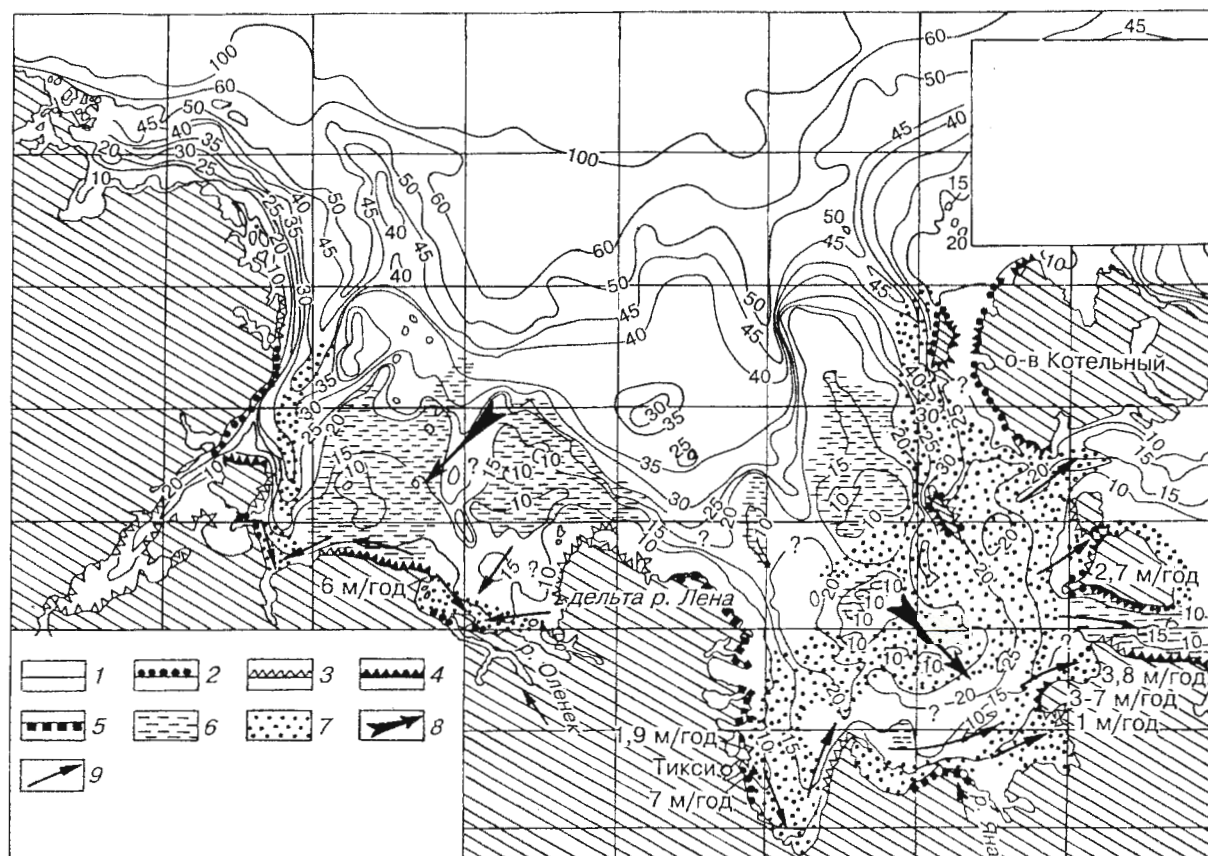
МЕТОДИКА СОСТАВЛЕНИЯ КАРТЫ

Для составления карты динамики берегов необходимы следующие данные: скорость отступления берега (скорость термоабразии) $V_{та}$, м/год, или скорость наступания берега; высота клифов H , м; положение нижней границы береговой зоны; литология отложений, слагающих береговую зону (берег и подводный береговой склон); суммарная объемная льдистость и объемный вес скелета этих отложений.

В настоящее время составление карты на основе данных прямых измерений и наблюдений невозможно из-за недостатка таких данных. Единственной возможностью является использование косвенных данных, которые могут быть получены с геологических, геокриологических, геоморфологических, топографических и батиметрических карт, а также из различных публикаций.

Очень мало достоверных данных опубликовано о скорости отступления берегов моря Лаптевых. Большинство из них относится к коротким участкам побережья. Схематические карты динамики берегов составлены для юго-восточной части Хатангского залива, для части Анабаро-Оленекского побережья и для Ванькиной губы [Жигарев, Совершаев, 1984; Арэ, 1985; Новиков, 1984; Григорьев, 1996; Медкова, 1994].

Удовлетворительные данные о литологии побережья содержат геологические карты масштаба не мельче 1:1 000 000. Опубликованная Мерзотно-ландшафтная карта Якутской АССР м-ба 1:2 500 000 [1991] содержит ориентировочную информацию о льдистости отложений, слагающих побережье. Высота клифов и батиметрия прибрежной зоны могут быть получены с топографических карт М 1 : 25 000 и других масштабов. Много разрозненной информации имеется в многочисленных публикациях. Все перечисленные источники использованы при составлении карты, представленной на рисунке.



Схематическая карта динамики берегов моря Лаптевых.

1 — стабильные берега, не поставляющие наносов в море; 2 — относительно стабильные берега, сложенные полускальными породами; 3 — медленно отступающие термоабразионные берега (<2м/год); 4 — быстро отступающие термоабразионные берега (>2м/год); 5 — наступающие берега дельт; 6 — районы эрозии дна; 7 — районы аккумуляции наносов; 8 — направление энергетической равнодействующей волнения; 9 — направление вдоль береговых потоков наносов.

Среди параметров, необходимых для составления карты, наименее изучено и осмыслено положение нижней границы береговой зоны, которое определяется максимальной глубиной воздействия волн на дно, h_{\max} , м. Эта граница обычно хорошо выражена геоморфологически в глубоких морях (глубина больше h_{\max}) с приглубыми абразионными берегами, сложенными песками, более крупнозернистыми отложениями или скальными породами. В указанных условиях нижняя граница береговой зоны маркируется бровкой подводной аккумулятивной террасы [Зенкович, 1962]. В мелководных морях (глубина меньше h_{\max}) за нижнюю границу береговой зоны принимают изобату, на которой относительно крутой подводный береговой склон переходит в очень пологий склон так называемой переходной зоны дна моря. Но на некоторых профилях дна мелководных морей это изменение уклона неуловимо. Иногда нижняя граница береговой зоны может быть определена по изменению состава донных отложений от песчаных на подводном береговом склоне к илистым в переходной зоне [Reineck, Singh, 1980].

Примерно половина огромной территории моря Лаптевых мелководна. Волны воздействуют на дно повсеместно на расстояние до нескольких сотен километров от берега. Это воздействие настолько сильно, что во время штормов волны забрасывают на палубы судов ил и песок [Клюев, 1970]. Очевидно, что эрозию дна моря на таких больших расстояниях от берега нельзя рассматривать как береговой процесс. В таких условиях понятие береговой зоны теряет смысл. Тем не менее для расчета количества наносов, поставляемых в море разрушением берегов, необходимо определить положение границы между зонами размыва берега и дна моря. Очевидно, что при составлении карты, представленной на рисунке, это можно было сделать только грубо приближенно из-за отсутствия необходимых фактических данных. Для более обоснованного решения задачи необходимы данные повторных батиметрических промеров с достаточно большим интервалом по времени. Такие данные имеются [Клюев, 1970] и в будущем они должны быть использованы.

В. А. Совершаев определил направления энергетической равнодействующей волнового режима на морской границе береговой зоны для юго-западной и юго-восточной частей моря, провел районирование береговой зоны, определил направления вдоль берегового движения наносов, зоны размыва и аккумуляции наносов вблизи побережья [Совершаев, 1980]. Результаты исследований В. А. Совершаева использованы при составлении карты.

Направления движения наносов в проливах Новосибирского архипелага показаны по мате-

риалам Е. В. Клюева [1967] и опубликованным картам поверхностных течений [Атлас Арктики, 1985; World Ocean Atlas, 1980].

Стабильные берега, не поставляющие наносов в море, показанные на карте сплошной линией, представляют собой любые берега, не подвергающиеся разрушающему воздействию моря, или берега, сложенные прочными скальными породами: липаритами, андезитами, базальтами.

Берега, сложенные полускальными породами, обозначены на карте как относительно стабильные. Такие берега отступают очень медленно, но при большой высоте клифов могут поставлять в море значительное количество наносов.

Большая часть величин скорости отступления берегов, показанных на карте, отражают опубликованные результаты надежных натурных наблюдений или сравнения аэрофотоснимков разных залетов [Совершаев, 1980; Новиков, 1984; Арз, 1985; Григорьев, 1996]. Но величины, показанные на северном и южном берегах пролива Дмитрия Лаптева, получены косвенным путем. Несколько описаний этих берегов, опубликованные в разное время, свидетельствуют о том, что внешний вид их клифов остается постоянным в течение последних 80 лет [Воллосович, 1915; Романовский, 1963; Григорьев, 1996]. Эти клифы, сложенные ледовым комплексом, имеют в основании узкую термотеррасу и вертикальную верхнюю часть. Сохранение такой формы профиля в течение многих лет свидетельствует о приблизительном равенстве скорости отступления берега и скорости термоденудации ледового комплекса. Последняя легко определяется по сезонным суммам положительных среднесуточных температур воздуха [Арз, 1985]. Сумма температур для северного берега пролива вычислена по данным полярной станции Кигилях, для южного — станции Святой Нос [Справочник..., 1989].

Районы эрозии дна моря и аккумуляции наносов на дне в зоне Анабаро-Оленекского побережья и вокруг о-ва Бол. Ляховский нанесены на карту в соответствии с данными Е. В. Клюева [1967, 1970] [Клюев, Kotyukh, 1985]. Районы аккумуляции в заливах Анабарском, Оленекском, Буор-Хая и Янском, а также вдоль юго-восточного побережья моря отражают расчеты В. А. Совершаева [1980].

Большие районы эрозии и аккумуляции в открытом море выделены на основе следующих соображений. Прибрежная равнина между устьями рек Анабар и Оленек сложена ледовым комплексом, содержащим 60—80 % частиц диаметром < 0,05 мм. Согласно данным Е. В. Клюева [1970], дно моря в этом районе песчаное в пределах глубин от 4—6 до 20—25 м. Вблизи берега и в зоне больших глубин дно илистое. По мнению Е. В. Клюева, песчаное дно свидетельст-

вует о его эрозии. Результаты новейших исследований Ф. Линдемманна [1994] и А. Бентиена [1994] подтверждают эту точку зрения.

Ф. Линдемманн изучал гранулометрический состав донных отложений моря Лаптевых и составил схематические карты распространения различных фракций. Согласно этим картам, донные отложения в районе морского дна к северу от Анабаро-Оленекского побережья между изобатами 10 и 25 м содержат >75% песчаных частиц.

В восточной части моря Лаптевых в зоне уничтоженных морем о-ов Семеновского и Васильевского располагается обширное мелководье с глубинами 8—10 м. В этом районе эрозия дна несомненно развивается в настоящее время. По данным Ф. Линдемманна, дно в этом районе и намного дальше к северу в пределах глубин от 10 до 20 м тоже покрыто песчаными отложениями.

А. Бентиен исследовал физические свойства донных отложений моря Лаптевых и провел корреляцию глубины проникновения сигналов эхолота в дно со свойствами донных отложений. При этом была установлена хорошая корреляция с гранулометрическим составом. Глубина проникновения возрастает с увеличением дисперсности донных отложений. По этой зависимости были выделены три типа сигналов. Очень малое проникновение или полное его отсутствие наблюдается на участках дна, сложенных преимущественно песчаными отложениями. Наибольшее проникновение, достигающее 5 м, на участках, сложенных мягкими глинистыми отложениями. А. Бентиен составил схематическую карту распространения типов сигналов, которая в основном совпадает с картами распространения донных отложений Ф. Линдемманна.

Результаты исследований Е.В. Клюева, Ф. Линдемманна и А. Бентиена свидетельствуют о том, что в исследованной части моря Лаптевых песчаные донные отложения маркируют зоны эрозии дна, а илистые и глинистые отложения — зоны аккумуляции наносов. Это положение было использовано для выделения районов эрозии и аккумуляции при составлении карты динамики берегов, представленной на рисунке

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВКЛАДА ТЕРМОАБРАЗИИ В БАЛАНС НАНОСОВ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Количество наносов, поступающих в море вследствие термоабразии берегов, может быть вычислено на основе двух различных принципов. Классическая теория абразии предполагает, что отступление берегов представляет собой затухающий процесс и имеет предел, определяемый минимальным уклоном подводного берегового склона [Зенкович, 1962]. Второй принцип пред-

полагает неограниченное отступление берега с примерно постоянной скоростью. Именно такой характер отступления наблюдается на многих участках берегов арктических морей в течение последних десятилетий. При этом профиль подводного берегового склона отступает параллельно самому себе с такой же скоростью, как и береговая линия.

Элементарные геометрические соображения показывают, что при незатухающем отступании берега объем материала, поступающего в море с подводного берегового склона, в два раза больше, чем при затухающем отступании. В любом случае объем наносов, поступающих с подводного берегового склона, не зависит от его уклона и формы. Суммарный объем наносов, поступающих с надводной и подводной частей береговой зоны, определяется как объем вертикальной стены высотой $H + h_{\max}$. Следовательно, для вычисления объема размыва необходимо знать $V_{\text{та}}$, H и h_{\max} , как это было сказано выше. Ширина подводного берегового склона для вычислений не нужна.

Выбор расчетной величины h_{\max} следует делать исходя из местных батиметрических условий. Ученые США, вычисляя объемы размыва для западной части побережья моря Бофорта, вначале считали нижней границей береговой зоны изобату 2 м, поскольку по этой изобате проходила граница подводной террасы [Reimnitz et al., 1988]. Позднее они пришли к заключению, что размыв дна распространяется до изобаты 6 м и возможно еще глубже [Barnes et al., 1991].

КОЛИЧЕСТВО НАНОСОВ, ПОСТУПАЮЩИХ В МОРЕ С АНАБАРО-ОЛЕНЕКСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ

В сороковых-шестидесятых годах в течение 20 лет проводился батиметрический мониторинг прибрежной зоны моря Лаптевых у Анабаро-Оленекского побережья длиной около 160 км до изобаты 5 м, которая располагается здесь на расстоянии 6—8 км от берега. Результаты мониторинга показали, что дно моря размывается повсеместно и понижается со скоростью до 4 см/год [Клюев, 1967, 1970; Клюев, Котыух, 1985]. Примерно такая же ситуация наблюдается в Восточно-Сибирском море в районе мыса Крестовского до изобаты 6 м, несмотря на очень маленький уклон дна порядка 0,0003. Изменения дна в более глубоководной части морей не исследовались.

Е.В. Клюев отмечает, что скорость отступления берегов и форма подводного берегового склона на исследованных участках не изменялись во времени, т.е. подводный склон отступал параллельно самому себе. Это означает, что

объем размыва следует вычислять по схеме неза-
тоухающего отступления.

Анабаро-Оленекское побережье относительно хорошо изучено. Определены средние много-
летние скорости отступления берега путем срав-
нения аэрофотоснимков масштабов 1 : 36 000 и
1 : 84 000 залетов 1949 и 1971 гг. [Арз, 1985].
Сравнение производилось без использования
специальной аппаратуры. Методика сравнения
позволяла надежно определить скорость 0,5 и
более м/год.

Средняя величина скорости отступления бе-
регов для исследованных 85 км побережья сос-
тавляет примерно 2 м/год. На протяжении
69,5 км берег сложен преимущественно ледовым
комплексом или отложениями термокарстовых
котловин. Последние представлены главным
образом протаявшим и просевшим ледовым ком-
плексом. Поэтому высота клифов, пересекающих
термокарстовые котловины, может рассмат-
риваться как результат осадки при оттаивании
ледового комплекса. Принятие такой точки
зрения позволяет в первом приближении счита-
ть, что с единицы длины двух указанных типов
берегов в море поступает одинаковое количество
наносов, и в расчетах объемов размыва при-
нимать высоту клифов равной их средней высоте
в пределах термокарстовых котловин (10 м).

Мощность ледового комплекса в рассмат-
риваемом районе изучена мало. Известно, что
местами ледяные жилы уходят под уровень моря.
Осадка при оттаивании этих отложений при рас-
четах объемов размыва не учитывалась.

В соответствии с приведенными выше дан-
ными Е.В.Клюева, в качестве нижней границы
береговой зоны принята изобата 5 м. В дейст-
вительности размыв дна распространяется на
большие глубины. Плотность скелета пылеватых
песков равна примерно 1,5 т/м³. Используя
перечисленные исходные данные, получаем сле-
дующее количество наносов, поступающих в мо-
ре с 69,5 км Анабаро-Оленекского побережья:

$$M = D \cdot V_{\text{та}}(H + h_{\text{max}}) \cdot L =$$

$$= 1,5 \cdot 2(10 + 5) \cdot 69500 = 3127500 \text{ т/год,}$$

где D — плотность скелета, L — длина берега.
Аналогично для 15,5 км низких берегов получим:

$$M = 1,5 \cdot 2 \cdot (0,5 + 5) \cdot 15500 = 255750 \text{ т/год}$$

и в сумме с 85 км берега около 3,4 Мт/год.

ТВЕРДЫЙ СТОК РЕК, ВПАДАЮЩИХ В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ

Более менее регулярные измерения расхода
воды и наносов рек, впадающих в море Лапте-
вых, проводятся уже более 60 лет. Одно из
ранних обобщений результатов этих измерений
приведено в табл.1. Створы, в которых про-

Таблица 1. Твердый сток рек, впадающих
в море Лаптевых [Доронина, 1962]

Река	Створ	Годы изме- рений	Мутность воды		Расход наносов, Мт/год
			г/м ³	т/км ³	
Анабар	Саскылах	1936	14,3	14300	0,235
Оленек	Куойка	1938—40	15	15000	0,535
Лена	Кюсюр	1936—44	23,1	23100	11,804
Яна	Юттях	1938—41	200	200000	6,360

Таблица 2. Расход воды и наносов рек, впадающих
в море Лаптевых [Alabyan et al., 1995]

Река	Расход воды, км ³ /год	Расход наносов, Мт/год
Анабар	13,2	0,4
Хатанга	101	1,4
Лена	520	21
Яна	30,7	3
Все реки	700	26

водились измерения, расположены на рассто-
яниях до 200—300 км от устьев и дельт. Поэтому
данные таблицы не характеризуют количество
наносов, поставляемых реками в море.

Результаты более поздних обобщений опуб-
ликованы В.В. Ивановым и А.А. Пискуном
[1995]. Эти исследователи оценивают средний
расход наносов р. Лена в Кюсюре в 18,4 Мт/год.
По их мнению, суммарный расход в протоках
дельты больше вследствие разрушения берегов
проток и достигает 19,4 Мт/год. Расход наносов
рек Оленек и Яна составляет соответственно 1,48
и 4,19 Мт/год.

В.В.Иванов и А.А.Пискун подчеркивают,
что все имеющиеся данные характеризуют рас-
ход в реках или в их дельтах, но не количество
наносов, поступающих в море. По их мнению,
для оценки вклада рек в баланс наносов моря
необходимы специальные полномасштабные
исследования.

Данные исследователей Московского госу-
дарственного университета, представленные в
табл. 2, дают третью версию расхода наносов
крупнейших рек, впадающих в море Лаптевых.
Авторы отмечают, что эти данные characterи-
зуют расход в конце предустьевых участков. По их
мнению, только 2,1—3,5 Мт/год из суммарного
расхода взвешенных наносов р. Лена поступают
в море, так как большая часть твердого стока
расходуется на формирование обширной дельто-
вой равнины. К сожалению, это чрезвычайно
важное утверждение в указанной публикации
ничем не обосновано.

ОБСУЖДЕНИЕ

Как отмечалось выше, для большей части
берегов моря Лаптевых нет данных прямых опре-
делений параметров их динамики. Поэтому ха-

рактеристика таких берегов на карте дана по косвенным данным и соображениям. Например, согласно геологической карте м-ба 1:1 000 000, юго-восточная часть берегов Таймыра сложена рыхлыми морскими, аллювиальными и аллювиально-морскими отложениями примерно на половине их длины. Другая половина представлена пятью отдельными участками, сложенными полускальными породами. Уклон подводного берегового склона достигает 0,003. Это довольно крутой склон по сравнению с обычными условиями в море Лаптевых. Поэтому представляется очевидным, что эта часть берегов Таймыра подвергается разрушению морем. Форма береговой линии показывает, что участки, сложенные полускальными породами, играют роль берегозащитных сооружений. Эти участки образуют мысы, а участки, сложенные рыхлыми отложениями, — заливы. Максимальное врезание заливов в сушу достигает 5 км. Вероятно, заливы сформировались в течение последних 5000 лет при относительно стабильном уровне моря. В таком случае современное положение береговой линии должно быть близко к равновесному состоянию, а темп отступления всего рассматриваемого участка должен определяться разрушением берегов, сложенных полускальными породами. Поэтому рассматриваемый участок обозначен на карте как относительно стабильный.

В целом достоверность большей части информации, представленной на обсуждаемой карте, не может быть доказана в настоящее время, но выбор любого использованного обозначения имеет обоснование, подобное изложенному. Карту можно рассматривать как информацию о современном состоянии изученности динамики берегов моря Лаптевых. Она может быть использована для планирования дальнейших исследований.

Сравнение данных о твердом стоке рек, представленных в табл. 1 и 2, и результаты изложенных выше расчетов количества наносов, поступающих в море Лаптевых вследствие разрушения 85 км его берегов между устьями Анабара и Оленека, показывают, что при оценке баланса наносов моря недопустимо пренебрегать вкладом разрушения берегов. Согласно карте (см. рисунок) суммарная длина термоабразионных берегов моря Лаптевых без северных берегов Таймыра и берегов Хатангского залива составляет 1000—1300 км. Расход наносов Лены в Кюсюре оценен в 21 Мт/год [Алабян и др., 1995], что составляет 81% суммарного твердого стока рек, впадающих в море Лаптевых. Используя вышеизложенную методику, можно рассчитать скорость отступления берегов, необходимую для поставки в море такого же количества наносов, какое проходит через Кюсюрский створ Лены. Для расчета примем высоту клифов 5 м и нижнюю границу береговой зоны 10 м, что не представляется преувеличением.

$$V_{\text{та}} = M: [D \cdot L \cdot (H + h_{\text{max}})] =$$

$$= 21\,000\,000: [1,5 \cdot 1\,000\,000 \cdot (5 + 10)] = 0,9 \text{ м/год.}$$

При длине берегов 1300 км получим скорость отступления 0,7 м/год. Вполне вероятно, что действительная средняя скорость отступления всех термоабразионных берегов моря Лаптевых не слишком отличается от величин 0,7—0,9 м/год. Результат расчета говорит о том, что вклад разрушения берегов в баланс наносов моря Лаптевых, по крайней мере, одного порядка со вкладом рек. Если же данные А.М. Алабяна с соавторами о том, что только 20—35% твердого стока рек поступают в море, являются правильными, то вклад берегов, по-видимому, значительно превышает вклад рек.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вниманию читателя предлагается схематическая карта динамики берегов моря Лаптевых, которая составлена на основе опубликованных материалов. Карта дает оценку современного состояния изученности процессов развития берегов моря Лаптевых и показывает, что уровень изученности весьма низок. Карта может быть использована для планирования дальнейших исследований.

Расчеты количества наносов, поставляемых в море Лаптевых при разрушении берегов Анабаро-Оленекского побережья, и сравнение этого количества с твердым стоком главных рек, впадающих в море Лаптевых, показывает, что вклад этих двух источников в баланс наносов моря по меньшей мере одного порядка. Весьма вероятно, что вклад берегов превосходит вклад рек.

Обзор данных о расходе наносов рек, впадающих в море Лаптевых, показывает, что вклад рек в баланс наносов моря Лаптевых изучен очень слабо. Для надежного определения этого вклада путем прямых измерений расхода необходимо проведение многолетнего мониторинга. Более простым, быстрым и дешевым представляется другой путь, заключающийся в определении:

— перемещения береговой линии в пределах дельт путем сравнения аэро- или космических снимков, сделанных с интервалом 20—30 или более лет;

— количества наносов, затраченных на формирование дельт за такой же интервал времени, путем сравнения геодезических и батиметрических профилей дельт и их береговых зон;

— количества наносов, прошедших через дельты в море, путем сравнения твердого стока рек и количества наносов, использованных на формирование дельт.

Автор выражает благодарность Министерству науки и техники Федеративной республики Германии (BM BF Grant No. 525 4003 OG0517A). Изложенные исследования проведены в рамках Германско-Российской научной кооперации благодаря поддержке Института им.Альфреда Веге-

нера, Бремерхафен и института ГЕОМАР, Киель. Автор считает также своим долгом выразить признательность д-ру Х. Кассенс за всемерное содействие в работе и многочисленные дискуссии.

Литература

- Арз Ф.Э. Основы прогноза термоабразии берегов. Новосибирск, Наука, 1985, 172 с.
- Атлас Арктики / Отв. ред. А.Ф. Трешников. М., ГУГК, 1985, 204 с.
- Волдосович К.А. Мамонт острова Бол. Ляховского (Новосибирские острова) // Зап. минерал. об-ва, 1915, сер. 2, ч. 50, с. 20—338.
- Григорьев М.Н. Закономерности процессов термоабразии и термоденудации берегов арктических морей (на примере ключевых участков побережья моря Лаптевых) // Матер. первой конф. геокриологов России, кн.1, М., Изд-во Моск. ун-та, 1996, с. 504—511.
- Доронина Н.А. Реки // Северная Якутия, Тр. ААНИИ, т. 236, Л., Морской транспорт, 1962, с. 193—222.
- Жигарев Л.А., Совершаев В.А. Термоабразионное разрушение арктических островов // Береговые процессы в криолизоне. Новосибирск, Наука, 1984, с. 31—38.
- Зенкович В.П. Основы учения о развитии морских берегов. М., Изд-во АН СССР, 1962, 710 с.
- Клюев В.В. Роль мерзлотных факторов в динамике рельефа дна полярных морей // Автореф. канд. дис., Ленинградский гос. ун-т, 1967, 12 с.
- Клюев В.В. Термическая абразия прибрежной полосы полярных морей // Изв. ВГО, т.102, вып.2, 1970, с. 129-135.
- Медкова О.Н. О морфологии и динамике берегов Хатангского залива // Научные результаты экспедиции ЛАПЭКС-93, Санкт-Петербург, Гидрометеоздат, 1994, с. 247—256.
- Мерзлотно-ландшафтная карта Якутской АССР / Отв. ред. П.И. Мельников. Госгеодезия СССР, 1991.
- Новиков В.Н. Морфология и динамика берегов Ванькиной Губы моря Лаптевых // Береговые процессы в криолизоне, Новосибирск, Наука, 1984, с. 20—28.
- Попов Б.А., Совершаев В.А. Некоторые черты динамики арктических берегов Азии // Вопросы географии, № 119, 1982, с. 105—116.
- Романовский Н.Н. К вопросу о формах разрушения берегов о. Бол. Ляховского // Новосибирские острова. Л., Морской транспорт, 1963, с. 54—66. (Тр. ААНИИ, т. 224).
- Совершаев В.А. Берегоформирующие факторы и районирование берегов морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского по динамическому принципу // Автореф. канд. дис., Моск. гос. ун-т, 1980, 24 с.
- Справочник по климату СССР. Вып. 24, ч.1 // Температура воздуха. Якутск, 1989, 544 с.
- Alabyan A.M., Chalov R.S., Korotayev V.N., et al. Natural and technogenic water and sediment supply to the Laptev Sea // Berichte zur Polarforschung, 176, AWI, Bremerhaven, BRD, 1995, p. 265—271.
- Barnes P.W., Reimnitz E., Rollyson B.P. Map of Beaufort Sea coastal erosion and accretion, north-eastern Alaska // U.S. Geological Survey, Miscellaneous Investigations, Map 1182-4, 1991.
- Benthien A. Echographiekartierung und physicalische Eigenschaften der oberflächennahen Sedimente in der Laptevsee // Diplomarbeit, Teil 2, Christian-Albrecht-Universitaet, Kiel, BRD, 1994, 79 s.
- Inanov V.V., Piskun A.A. Distribution of river water and suspended sediments in the river deltas of the Laptev Sea // Berichte zur Polarforschung, 176, AWI, Bremerhaven, BRD, 1995, p.142—153.
- Kluyev Y.V., Kotyukh. Some peculiarities of the dynamics of the relief of the bed of the Laptev Sea // Polar Geography and Geology, vol. 9, No 4, 1985, p. 301—307.
- Lindemann F. Sonographische und sedimentologische Untersuchungen in der Laptevsee, sibirische Arktis // Diplomarbeit, Teil 2, Christian-Albrechts-Universitat, Kiel, BRD, 1994, 75 s.
- Reimnitz E., Graves S.M., Barnes P.W. Beaufort Sea coastal erosion, sediment flux, shoreline evolution, and the erosional shelf profile // U.S. Geological Survey, To accompany Map I-1182-G, 1988, 22 p.
- Reineck H.-E., Singh I.B. Depositional sedimentary environments, Springer-Verlag, 1980, 549 p.
- World Ocean Atlas, vol. 3, Arctic Ocean / S.G. Gorshkov (ed) ., Pergamon-Press, 1980, 184 p.

Поступила в редакцию
15 октября 1997 г.