

УДК 551.351 : 552.122(265)

УСЛОВИЯ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ТЕРРИГЕННЫХ ОСАДКОВ ЧУКОТСКОГО МОРЯ

ШУЙСКИЙ Ю.Д., ОГОРОДНИКОВ В.И.

Рассмотрение процесса формирования осадков на дне моря показало, что их гранулометрия определяется абразией берегов и подводного склона, ледовым и эоловым сносом, составом твердого стока рек и водообменом с соседними водоемами; особое влияние на гранулометрию стоков оказывают условия седиментации, динамика вод, а также рельеф берегов и дна бассейна.

Одной из наиболее важных характеристик современных морских осадков и осадочных пород является их гранулометрический состав. Вместе с вещественным (минералогическим и химическим) он отражает существо осадка как геологического тела и помогает анализировать его генезис. Особенно большое значение приобретает изучение гранулометрического состава донных осадков арктических морей, где повсеместное распространение получили терригенные отложения. Результатам изучения источников сноса осадочного материала и распределения разных фракций донных осадков в Чукотском море и посвящена данная статья.

Основная цель работы достигнута во время морских и береговых экспедиций в 1967, 1969, 1972 и 1976 гг., в которых изучено более 200 геологических станций с отборами кернов вибропоршневой и ударной трубками и дночерпательных проб. На берегу выполнено маршрутное картирование абразионных и аккумулятивных форм рельефа, отобраны образцы пляжевых наносов. В 1967 и 1976 гг. осуществлены повторные съемки береговых абразионных участков в районах западнее м. Якан, восточнее м. Ванкарем и юго-западнее м. Джэнрэтлен. Во время маршрутных береговых работ получены опросные сведения о динамике берегов. Широко привлекались результаты исследований других авторов. При составлении карт распределения различных фракций осадков анализировались источники терригенного осадочного материала, использовались данные по рельефу дна, учитывалось действие гидрологических и ледовых факторов, сделана попытка оценить основные элементы баланса осадочного вещества.

СНОС ОБЛОМОЧНОГО МАТЕРИАЛА В МОРЕ

Донные осадки Чукотского моря питаются из нескольких источников. Судя по составу, осадки сложены исключительно терригенным материалом (до 98-99%), поскольку почти абсолютно преобладает снос с суши. Этот процесс, очевидно, происходил в течение всего голоцена, когда окраины Азии и Северной Америки оказались затопленными трансгрессировавшими водами океана [*Белов и Огородников, 1976*]. Как и в

других полярных морях, основные источники осадочного материала - абразия берегов и подводного склона, речной сток, ледовый снос, эоловые процессы. Да недавнего времени совершенно не предпринимались попытки количественного расчета поступлений материала в Чукотское море. Тем более не было расчетов баланса и его количественной характеристики, что дает возможность более обоснованно объяснить закономерности седиментогенеза в данном водоеме. Первые количественные оценки продуктивности источников питания осадочным материалом выполнены Н.А. Беловым [1976] и авторами этой статьи [Огородников, 1977]. Было показано, что в Чукотское море выносятся разнообразные фракции материала. Отмечалось, что в отличие от многих других морей, в том числе и северных, твердый сток рек имеет здесь второстепенное значение как источник питания донных осадков и фактор формирования гранулометрического состава, что обусловлено перехватом речных наносов многочисленными лагунами, лиманами, заливами, часто малым речным стоком. Заметим, что второстепенный твердый сток рек характерен для таких морей, как, например, Баренцево, на что указывала М.В. Кленова [1960], а также Берингово, согласно А.П. Лисицыну [1966].

Ледовый вынос. Количественным расчетам продуктивности источников питания донных осадков с помощью льда посвящена работа Н.А. Белова [1976]. Пользуясь методом аналогий, он дал приближенную оценку сноса морским льдом, равную 9 млн. т/год. Однако непосредственный отбор проб льда в районах мысов Шмидта, Якан и около косы Беяка (всего 27 опробований) показал, что ледовый вынос достигает 8,1 млн м³/год [Шуйский и Огородников, 1978]. Это почти в 2 раза больше, чем подсчитал Н.А. Белов [1976]. Расхождение связано, вероятно, с различной методикой подсчетов. Результаты, полученные нами, по-видимому, более достоверны. В полярных морях Северного полушария терригенный материал выносится с помощью морских, а не континентальных льдов [Лисицын, 1974]. Для Чукотского моря морские льды - практически единственный ледовый фактор, тогда как в иных морях вынос материала осуществляется и материковыми (море Баффина), и речными (море Лаптевых) льдами. Для лучшего понимания процессов ледового выноса осадочного материала из береговой зоны в открытое море представляют интерес предложенные нами четыре механизма.

Наиболее распространено волновое перемешивание прибрежных вод, во время которого воды насыщаются взвесью. Дальнейшее замерзание приводит к фиксации взвешенных частиц в толще льда. Но особенно заметно насыщение льда наносами тогда, когда волнения действуют на лед в стадии шуги или сала. В этом случае возможна концентрация наносов до 15-20% от объема льда. Этот материал может выноситься на сушу или оставаться на месте, а реальный вынос в море происходит только при той степени насыщения, которая допускает плавание льдин. После вмержания наносов возможен отрыв и вынос льда в море. Там лед разрушается и тает сразу или через определенное время в зависимости от погодной обстановки. Такой механизм действует преимущественно в переходные сезоны года, от теплого к холодному и наоборот. Он проявляется, по-видимому, в условиях приглубого и отмелого подводного склона, при снежной и бесснежной зиме, на абразионных и аккумулятивных берегах. Лед может формироваться один или несколько раз, столько же раз выноситься в море вместе с включенными в него терригенными обломками. Гранулометрический состав выносимого материала аналогичен тому, что слагает пляжи в зоне действия прибойного потока.

Второй механизм наиболее действен в условиях бесснежной зимы на аккумулятивных песчаных берегах, отмелых или приглубых. После формирования толщи прибрежного льда ветер сдувает на его поверхность наносы с берега и верхняя часть ледового покрова насыщается материалом. Нередко толщина навешанных наносов составляет несколько сантиметров. При нагонах по трещинам вода может выступать на поверхность льда и наносы смерзаются, прочно включаясь в лед. В этом случае концентрация наносов может достигать 5-10% от объема льда, но в отличие от первого механизма ширина полосы насыщения составляет не десятки, а сотни метров. В

дальнейшем, как и в первом случае, ледовые наносы осаждаются на дно после разрушения и таяния льдин в море. Выносу подвергаются преимущественно песчаные и более мелкие фракции, содержание которых может достигать 90-95%. Этот материал схож по составу с эоловыми береговыми отложениями, а также представлен мелкозернистыми продуктами (фракции мельче 0,05 мм) выветривания горных пород.

Третий механизм проявляется в условиях отмелого подводного склона, действия приливо-отливных и стонно-нагонных явлений. Во время сгона или отлива лед ложится на дно, к его нижней поверхности примерзают наносы, иногда слоем в 2-3 см. Последующие нагон или прилив поднимают грунт вместе со льдом. Затем по мере наращивания льда наносы окончательно вмораживают в ледовую толщу. Многократное повторение этого процесса создает слоистость - прослойки льда чередуются с прослоями осадочного материала. Концентрация терригенных включений в этом случае может достигать 10%. Если между последующими соприкосновениями льда с дном наращивания льда не происходит, то осадок осыпается в воду и наиболее мелкие фракции течениями выносятся в открытое море.

Четвертый механизм связан с выпахающей деятельностью льдин, преимущественно многолетних. В этом случае отмечается лишь дообогащение, поскольку к уже вмороженным наносам добавляются частицы, поднимаемые льдом при выпахивании. Величины дообогащения могут достигать 0,5-1,0 кг/м² льдин. Этот материал располагается на верхней части льдин; гранулометрический состав его различен в зависимости от того, какого состава материал подвержен выпахиванию. Таким образом, в береговой зоне насыщение льда терригенным осадочным материалом происходит по-разному. Частицы могут вмораживаться отдельно в верхнюю часть ледовой толщи, в нижнюю часть и во всю толщу сразу. Все четыре механизма и вынос материала льдом в море редко проявляются раздельно, в том числе и на Чукотском море. Обычно они развиваются совместно, правда, с преимуществом какого-то одного. На разных этапах зимнего сезона, по-видимому, могут происходить усиление или ослабление одних и тесное взаимодействие других механизмов выноса.

Наши исследования показали, что насыщение морского льда наносами составляет в среднем около 3-5%, но иногда достигает 20-25%; обычная концентрация 1-2 кг/м², максимальная - до 9-10 кг/м² в зависимости от толщины льда. Механический анализ осадка из растопленных образцов льда показал, что преобладают фракции 5,0-0,1 мм (до 54-59%). Содержание более крупных фракций колеблется от 3 до 51%, более мелких - от 9 до 34%. Зная удельное количество материала (на 1 м²) и процентные содержания отдельных фракций, оказалось возможным подсчитать их количество. Среднее количество частиц мельче 0,1 мм равно 220-430 г/м² (27%), фракций 0,1-5,0 мм - 570-1140 г/м² (57%), а крупнее 5 мм - 160-320 г/м² (16%). Такое соотношение связано в основном с составом прибрежно-морских наносов на Чукотском море. Но не всегда все это количество полностью поступает на дно моря. Значительная часть наносов вообще не выходит в открытое море. Часть из них остается на месте и тает. Другая часть под влиянием морских ветров наползает на берег и тает там. Третья часть может вернуться к берегу после того, как некоторое время продрейфует в море. Поэтому можно принять, что в среднем льдами выносятся не более 1 кг/м² материала.

Твердый сток рек. На основании анализа среднегодовых величин жидкого стока и мутности рек Чукотского полуострова и Аляски установлено, что суммарная величина твердого стока в Чукотское море достигает 6,3 млн. т/год [Лисицын и др., 1966; Лонгинов, 1973]. Это намного меньше, чем приход в другие моря Арктического бассейна и составляет около 1% суммарного стока в бассейн [Антонов, 1948; Белов и Огородников, 1976]. Почти все реки в нижнем течении проложили русла по широкой прибрежной равнине. Поэтому течение рек медленное, спокойное, воды прозрачные. Лишь во время паводков, приходящихся на июнь, мутность резко повышается и достигает в целом более 100 г/л. За это короткое время (20-25 дней, или 5-7% годового периода) по рекам

сбрасывается до 80-90% годовой нормы твердого стока. В составе речных наносов преобладает фракция мелкого алеврита - около 40%. До 15% составляет среднезернистый песок, что связано в основном с сильными паводковыми течениями; пелитовых фракций в целом более 30%. Следовательно, реки выносят более мелкий материал в сравнении со льдами. Зная суммарное количество речных выносов и процентное содержание отдельных фракций, нетрудно подсчитать, что реки поставляют 0,95 млн. т/год среднезернистых песчаных фракций, 2,52 млн. т/год фракций мелкого алеврита, 1,89 млн. т/год пелитовых фракций. Остальные 0,94 млн. т/год приходятся на другие фракции.

Влияние твердого стока на воды Чукотского моря незначительно и охватывает примерно 1,5% площади морской акватории [Антонов, 1948; Огородников, 1977], т.е. очень мало, если учесть соотношение площадей моря и речного водосбора. Подобное явление характерно также для западной части Берингова моря [Лисицын, 1966] и для многих других акваторий, например северо-западной части Охотского моря, западной части Балтийского моря, восточной части Азовского моря, что можно объяснить, видимо, существованием некоторого звена на пути речного материала, которое понижает влияние рек. Таким звеном можно считать прибрежные лагуны, распространенные почти на 320 км вдоль Чукотского побережья. По имеющимся данным [Бабаев и Жиндарев, 1979] можно подсчитать скорости осадконакопления в лагунах Чукотского побережья, составляющие в среднем 2 мм/год за голоцен, как и во многих других полярных и дальневосточных морях. Если учесть длину лагун и принять среднюю ширину их в 3 км, то при указанной скорости осадконакопления в лагунах отлагается почти треть всего твердого стока рек. Вероятно, такого же порядка улавливающая роль лагун может быть отмечена и на других полярных побережьях. В составе лагунных отложений высоко содержание песчаных и более крупных фракций терригенного материала - до 15%. Следовательно, лагуны улавливают в первую очередь крупнозернистый материал из рек, а в море пропускают прежде всего алевритовые и пелитовые фракции.

Эоловый вынос. Процессы непосредственного ветрового выноса терригенного материала в Чукотское море незначительны в связи с климатической зональностью осадконакопления [Лисицын и др., 1966] и развитием полярного типа прибрежно-шельфового морфолитогенеза [Каплин, 1971]. Аккумулятивные формы прибрежного рельефа и пляжи сложены в основном гравийно-галечными наносами, которые практически не реагируют на действие ветра. Песчаные формы, наиболее активно подверженные дефляции, мало распространены [Каплин, 1971], поэтому и возможности ветрового переноса ограничены. В теплую половину года, когда устанавливается сибирская область низкого давления атмосферы, ветер дует преимущественно в сторону суши и материал перемещается с небольших площадей песчаных аккумулятивных форм в основном не в море, а на сушу. Зимой, когда происходит ветровой перенос с суши на море, поверхность воды покрыта льдом и эоловый материал осаждается на поверхность льда. В это время начинает действовать второй механизм ледового выноса материала в море, обуславливающий повышенные содержания алеврито-пелитовых фракций в составе морского льда.

Поступление материала под влиянием абразии. Несмотря на большую продолжительность ледостава в прибрежной зоне Чукотского моря, берега здесь развиваются в основном под влиянием волновых процессов. Об этом свидетельствует широкое распространение активных клифов и бенчей, выработанных в породах различной прочности [Арэ, 1980; Ионин и др., 1980; Кленова, 1960]. Скорости абразии клифов довольно велики - в среднем 0,2-0,4 м/год в метаморфизованных осадочных породах и до 3-5 м/год в рыхлых осадочных породах аллювиального, лагунно-морского и делювиального генезиса, согласно нашим исследованиям и данным Ф.Э. Арэ [1980]. Подсчеты показали, что за счет абразии клифов в море сносится 14,3 млн. м³/год осадочного материала разного гранулометрического состава [Шуйский и Огородников, 1978]. Примерно 25% этой суммы (около 3 млн. м³/год) приходится на грубообломочный

материал скальных пород (щебень, дресва и др.), который, окатываясь и истираясь волнами, отлагается в основном на прибрежных аккумулятивных формах, а частично выносится льдом в море. Остальные 75% абразионного материала из клифов представлены гравийно-галечными, песчаными, алевритовыми и пелитовыми фракциями с заметным преобладанием последних двух. Согласно данным [*Ионин и др., 1971; Revelle & Shepard, 1955*], песчаные фракции составляют до 25% негрубозернистого материала ($14,3 - 3 = 11,3$ млн. м³/год), алевритовые - около 30%, пелитовые - 40% в соответствии с гранулометрическим составом питающих материнских пород. Отсюда несложно вычислить, что в Чукотское море поступает 0,6 млн. м³/год глыбовых обломков, 3 млн. м³/год дресвяно-щебневых, 2,8 млн. м³/год песчаных, 3,4 млн. м³/год алевритовых фракций и 4,5 млн. м³/год пелитовых фракций. Очевидно, почти половина материала из клифов представлена тонкозернистыми фракциями. В Чукотское море сносится преимущественно мелкий материал в отличие от некоторых других морей, например Охотского.

Но абразионные процессы проявляются не только в надводной части береговой зоны, в пределах клифов. Подробный анализ седиментационных процессов позволил П.А. Каплину [*1971*] сделать вывод, что основная масса наносов мобилизуется в береговой зоне от абразии подводного склона. Этот вывод подтверждается данными Н.А. Белова и В.И. Огородникова [*1976*], закартировавших обширные площади бенчей, составившие почти 90 тыс. км² (из 582 тыс. км² всего моря), а также данными Е.В. Клюева [*1965; 1970*], который обнаружил высокие скорости абразии очень широких бенчей. Следовательно, активный снос материала осуществляется с поверхности морского дна, площадь которой достигает около 90 тыс. км², а шельфовое осадконакопление - на площади около 500 тыс. км². Обычное соотношение между величинами сноса осадочного материала из клифов и бенчей в береговой зоне других морей, в частности расположенных в умеренной зоне, составляет от 1:1 до 1:3 при условии, что берега и подводный склон сложены рыхлыми осадочными породами. Поэтому ранее нами было принято, что с подводного склона Чукотского моря выносится в 2 раза больше материала, чем с клифов [*Шуйский и Огородников, 1978*]. Однако в дальнейшем оказалось возможным выполнить прямые расчеты, которые, конечно, более достоверны, поскольку осуществляются не по аналогиям, а с использованием данных о ширине бенчей и скоростях их абразии.

Непосредственные наблюдения и сопоставление повторных точных батиметрических съемок позволили установить, что в береговой зоне полярных морей, в том числе и Чукотского, подводный склон шириной до 7-12 км углубляется в среднем на 2-8 см/год [*Клюев, 1965; 1970*]. Если принять по минимуму ширину и углубление бенчей, то удельный снос с них составит 7 км x 0,02 м/год = 140 м³/год в расчете на 1 м длины берега. Из этой величины нужно исключить 25-30% объема, приходящегося на жильный лед в вечномерзлых толщах. Оставшийся объем (100 м³/м · год) надо умножить на длину берега, напротив которого бенчи сложены рыхлыми вечномерзлыми осадочными породами (310 км). В результате получим суммарную продуктивность питания осадочным материалом бенчей Чукотского моря - 31 млн. м³/год. Эта величина близка полученной нами ранее другим способом, что свидетельствует о ее достоверности и подтверждает предположения П.А. Каплина [*1971*]. Таким образом, за счет абразии бенчей в море поступает почти столько же материала, сколько и за счет всех других анализировавшихся источников. Если принять гранулометрический состав питающих пород на подводном склоне таким же, как и в клифах, то можно получить количество различных фракций с бенчей. Оказалось, что с подводного склона поступает в море 9,3 млн. м³/год песчаных и более крупных фракций, 9,3 млн. м³/год алевритовых и 12,4 млн. м³/год пелитовых фракций. Таким образом, в составе сносимого осадочного материала преобладают песчаные и более мелкие фракции.

Роль Тихоокеанского течения. В отличие от других полярных морей в Чукотское огромен приток материала из Тихого океана. По имеющимся данным [*Леонов, 1948;*

[Лисицын, 1966], итоговый приход составляет 110-154 млн. т/год в зависимости от скоростей Тихоокеанского течения и концентрации взвеси в нем. Средняя величина принята нами в 120 млн. т/год. В составе взвеси, поступающей из Тихого океана, преобладают пелитовые фракции. Подчиненное значение имеет фракция мелкого алеврита. По-видимому, в придонном горизонте активно перемещаются и влекомые песчаные наносы, судя по большим скоростям течений (до 0,5 м/с) и по обнаруженному нами обширному полю песчаных волн на дне в северной части Берингова пролива и прилегающей части Чукотского моря.

ЭЛЕМЕНТЫ БАЛАНСА ОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА

Приведенные выше данные показывают, что в Чукотское море поступает около 220 млн. т/год осадочного материала из разных источников: 77 млн. т/год (45,3 млн. м³/год) - из клифов и бенчей, 15 млн. т (8,1 млн. м³) - под влиянием льда, 7 млн. т (3,7 млн. м³) - в виде твердого стока рек и 120 млн. т (70,6 млн. м³) приносится Берингоморским течением из Тихого океана. В них примерно 185 млн. т/год составляет алеврито-пелитовый материал. Реально установлено, что песчаные и более крупные фракции поступают под влиянием абразии берегов и подводного склона, и в открытое море они выносятся льдом и придонными течениями за пределы береговой зоны. В связи с концентрацией сравнительно крупного материала (в основном фракции крупнее 0,1 мм) около берега на открытый шельф должны поступать преимущественно частицы алевритовых и более мелких классов крупности. Следовательно, надо ожидать, что наиболее распространены на дне Чукотского моря алевритовые и более мелкие осадки; песчаные, видимо, должны быть приурочены в основном к прибрежной части дна и занимать там гораздо меньшие площади.

Представляет интерес вопрос о распределении всего количества осадочного материала, поступающего из разных источников в Чукотское море. Прежде всего надо выяснить, сколько материала уходит на формирование донных осадков в открытой части шельфа за пределами береговой зоны. Результаты бурения с помощью вибропоршневых и ударных трубок позволили нам составить карту мощностей голоценовых осадков, вероятно, первую для Чукотского моря. Возраст осадков определен в 9-11 тыс. лет. Наибольшую площадь дна, примерно 200 тыс. км², занимают осадки, скорости накопления которых равны 20-15 см/1000 лет. Примерно на 1/3 площади дна осадки накапливались со скоростью 15-10 см/1000 лет, а остальная часть, в основном около берега, занята осадками со скоростями накопления 10-1 см/1000 лет. Среднюю скорость осадконакопления в течение голоцена можно оценить в 15 см/1000 лет, что характерно для дна полярных морей [Белов, 1976] и вообще окраинных морей Мирового океана [Лисицын, 1966; 1974]. Если, условно принять, что с такой скоростью происходило накопление осадков вне современного размыва и абразии дна (т. е. на площади до 500 тыс. км²), то окажется, что ежегодно на формирование донной осадочной толщи уходит 75 млн. м³, или 130 млн. т материала. Около 5 млн. т/год питают вдольбереговые потоки наносов и прибрежно-морские аккумулятивные формы. Остальные 85 млн. т/год, возможно, уходят в глубоководную часть Арктического бассейна и питают абиссальные области дна. Согласно изложенному выше, эта часть материала в отличие от крупнозернистого прибрежно-морского представлена в основном взвешенными алеврито-пелитовыми фракциями. Балансовые расчеты позволили обосновать количество и состав материала, поступающего в Чукотское море, и дали возможность получить представление о соотношении различных классов крупности сносимого в море материала из разных источников. В соответствии с закономерностями поступления и распределения терригенного осадочного материала на дне моря формируются области с преобладанием того или иного гранулометрического состава.

ГРУБООБЛОМОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ

В распределении рассеянного грубообломочного материала прослеживаются две основные закономерности: уменьшение общего содержания по мере удаления от берегов и наличие зоны высоких концентраций грубообломочного материала, которая хорошо увязывается со средним положением кромки льдов в навигационный период. На основании выполненных исследований и анализа различных механизмов ледового выноса удалось установить, что зоны распространения и концентрации грубообломочного материала связаны с комплексом природных условий, но основная роль принадлежит разносу морскими льдами, хотя льды переносят не только грубообломочный материал. У п-ва Аляска наиболее высокие содержания фракций крупнее 1 мм (более 30%) прослеживаются до глубины 25 м, а затем отмечается резкое уменьшение их, и на глубинах более 40 м напротив Чукотского полуострова обнаружено минимальное содержание. Зависимость между содержанием в осадках грубообломочного материала и глубиной моря близка линейной, т.е. с увеличением глубин количество фракций крупнее 1 мм в осадках снижается. У о. Врангеля концентрация в осадках грубообломочного материала невысока и в целом незначительно убывает с глубиной, что служит одним из доказательств ослабленного ледового и абразионного разноса вокруг острова. По мере удаления от берега у Аляски высокие содержания фракций крупнее 1 мм в осадках прослеживаются на расстоянии до 20-25 км. Затем наблюдается постепенное уменьшение до минимальных значений (1-2%) в 60-70 км от берега. Напротив Чукотского полуострова содержание грубообломочного материала в осадках резко снижается в 10-15 км от берега.

Полученные данные подтверждаются при рассмотрении влияния динамики вод и ледового режима. Вдоль берегов Аляски проходит мощная ветвь теплого Тихоокеанского течения, которая не только способствует быстрому таянию льдов в этом районе, но также дополнительно приносит лед из Берингова моря. Согласно данным гидрометеорологической обсерватории (бухта Провидения), в Чукотское море приносится до 20% берингоморских льдов. Вместе со льдами поступает дополнительное количество материала, также оказывающего влияние на формирование гранулометрического состава осадков. Теплые течения оказывают гораздо меньшее влияние в районе Чукотского полуострова, а тем более около о. Врангеля, где формируется Врангелевский ледяной массив. Оторвавшиеся от местных берегов льдины, а также лед, принесенный из Берингова моря и не успевший по дороге растаять, начинают таять в прикромочной зоне. Здесь, очевидно, происходит и основная разгрузка льдов, оторвавшихся от ледников Канадского архипелага и дрейфующих в западном направлении. К северу от прикромочной зоны высоких концентраций содержание грубообломочного материала в некоторых пробах составляет первые доли процента. В подавляющем большинстве собранных проб осадки не содержат грубых фракций.

На распределение фракций более 1 мм оказывают влияние и уклоны подводного склона. Напротив Аляски они более пологие и ширина береговой зоны почти в 2 раза больше. Поэтому и ширина зоны волнового выноса этих фракций соответственно больше, чем у берегов Чукотского полуострова. Вокруг о. Врангеля пониженные концентрации грубого материала связаны уже с другими причинами - здесь сведен к минимуму волновой и ледовый разнос. Изучение гранулометрического состава осадков показывает, что за пределами прибрежной зоны размер зерен не превышает гравийной крупности, и только в некоторых пробах отмечено содержание мелкой гальки. Этот материал обычно хорошо окатан. Вблизи берега сортировка осадков, содержащих грубозернистые фракции, хорошая, но по мере удаления от берега ухудшается, поскольку гравийно-галечные зерна поступают с оторвавшихся от берега льдов в тонкие илы, залегающие в районах больших глубин и ослабленной гидродинамической активности.

Таким образом, на основной площади шельфа за пределами береговой зоны наиболее высокие концентрации грубообломочного материала зафиксированы в

прикромочной зоне, где осуществляется основная разгрузка морских (чукотских и берингоморских) и материковых (канадских) льдов. В то же время в береговой зоне четко прослеживается зависимость состава осадков от содержания различных фракций в породах, слагающих клифы и бенчи, а также от геологического строения абразионных форм. На участках, где абрадируются скальные породы, преобладают крупные обломки (более 5 мм) различной степени окатанности, как, например, у мысов Онман, Сердце-Камень, Инкигур и др. на Чукотском побережье. При разрушении многолетнемерзлых антропогенных толщ в составе осадков преобладают песчаные фракции, хотя примеси гравийно-галечного материала могут превышать 40%, как около мысов Якан, Ванкарем и др. Особенно низки содержания грубых фракций у берегов Аляски, где абразии подвержены в основном супесчаные и суглинистые клифы и бенчи, а также высокие величины твердого стока рек, впадающих непосредственно в море.

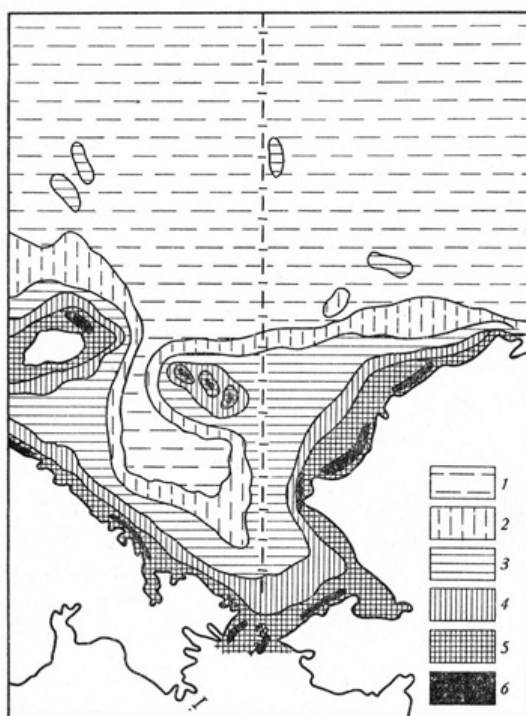
ПЕСЧАНЫЙ МАТЕРИАЛ

По составленной схеме суммарного распределения песчаного материала в Чукотском море (фиг. 1) видно, что уменьшение его содержания прослеживается по мере удаления от берегов (от более 70 до 5-1 и менее 1%), как и грубозернистых осадков, а в районе Центральной возвышенности - по мере удаления от склонов банок. Наиболее высокие содержания фракций 1-0,1 мм наблюдаются у берегов Чукотки (96,7%), Аляски (91,5%), на банке Геральд (91,23%), в прибрежных областях наибольшего волнового воздействия. Такая закономерность характерна вообще, поскольку очень высокие содержания песчаных фракций для аналогичных условий зафиксированы и в других морях, например в Охотском - до 95-99% [Безруков, 1960] и в Беринговом - до 98% [Лисицын, 1966; 1974]. Минимальные концентрации песков отмечены в районах Чукотской котловины, Чукотского желоба и в северной глубоководной части моря - до 0,67-0,77%. Если рассмотреть простирающиеся зоны различного содержания песков, можно выделить обширную зону у берегов Аляски, достигающую ширины почти 100 км. Эта зона значительно сужается около берегов Чукотки (20-25 км) и вокруг о. Врангеля (30-40 км). В связи с особенностями распределения льдов и гидродинамических характеристик в береговой зоне приаляскинская часть подвержена волновому влиянию в большей мере. Этот район повышенной волновой активности приурочен к гораздо большей площади Восточного мелководья, чем причукотского Западного и Врангелевского мелководий. Материал, поступивший за счет абразии клифов и бенчей и размыва мелководных участков дна в зоне активного волнового влияния, подвергается, по-видимому, интенсивной переработке. В результате, согласно закономерностям прибрежно-морской седиментации [Арэ, 1980; Ионин и др., 1980], происходит почти абсолютный вынос более тонких фракций в более глубокие части бассейна и накопление песчаного материала.

В устьевых областях рек, впадающих непосредственно в море, концентрации тонкой взвеси обычно невелики [Белов и Ерофеев, 1963; Ионин и др., 1971], что тоже благоприятствует накоплению песков. Зоны, содержащие 30-10, 10-5 и 5-1% песчаного материала, в которых последний не доминирует, а входит в состав осадков в виде примесей, связаны с удаленностью от областей питания, большими глубинами и соответственно с затуханием гидродинамической активности бассейна. В северной глубоководной части моря в зоне паковых льдов выделено несколько участков с повышенным содержанием фракций 1-0,1 мм (10-30 и даже до 30-50%). Вероятно, эти пятнистые участки приурочены к местам выхода коренных осадочных пород, но точных данных об их генезисе пока не имеется.

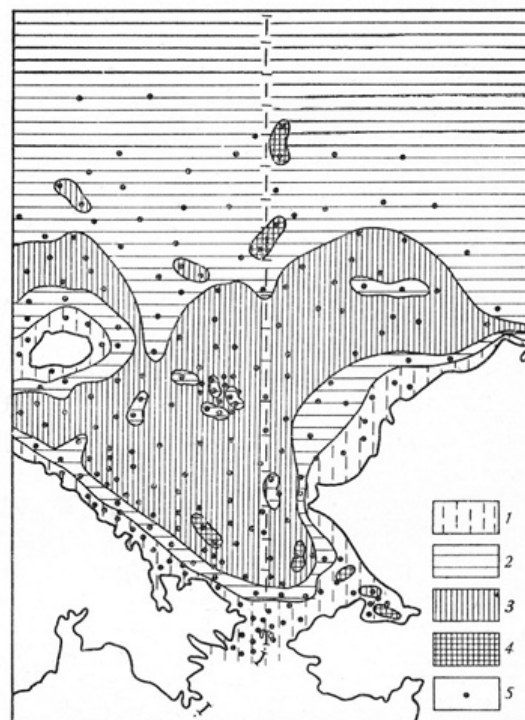
В результате абразионного развития клифов и бенчей выносимая в море основная масса крупно- и мелкозернистых песков откладывается в непосредственной близости от берега. Этот материал концентрируется в зонах распространения гравийно-галечных отложений. Мелкопесчаная фракция как более подвижная взмучивается, переносится

подалее от источника питания и, по-видимому, много раз переоткладывается в зоне высокой подвижности вод. Транспортировка, вероятнее всего, осуществляется преимущественно волочением и сальтированием по дну, как и песков на дне других морей, например Черного, Балтийского, Баренцева. Следует также отметить способность песчаного материала быстро отмучиваться от более тонких фракций [Лисицын, 1966; Лонгинов, 1973]. В связи с этим мелкозернистые пески должны хорошо сортироваться и образовывать осадки, состоящие в основном из зерен этого класса крупности, что подтверждают полученные нами данные по Чукотскому морю. Сортировка песков хорошая и лишь незначительно ухудшается по мере удаления от берега. Коэффициент сортировки обычно находится в пределах 1,2-1,9.



Фиг. 1. Схема распределения песчаного материала (фракция 0,1—1,0 мм) в донных осадках Чукотского моря

1—1—5%; 2—5—10%; 3—10—30%; 4—30—50%; 5—50—70%; 6—более 70%



Фиг. 2. Схема распределения алевритового материала (фракция 0,1—0,01 мм) в донных осадках Чукотского моря

1—5—10%; 2—10—30%; 3—30—50%; 4—более 50%; 5—станции отбора проб

В целом распределение песчаной фракции в открытой части шельфа показывает тесную связь с гидродинамикой и рельефом дна, а в береговой зоне - с источниками сноса терригенного материала. Эти особенности вообще характерны для прибрежно-шельфового морфолитогеоза [Ионин и др., 1980; Лонгинов, 1973] и четко проявляются на Чукотском море. Здесь зоны максимальных концентраций как бы выделяют участки с наиболее высокой степенью взаимодействия волн и течений с дном. Особенно четко эта закономерность проявляется в береговой зоне, где наибольшее развитие получили смешанные галечно-гравийно-песчаные отложения.

АЛЕВРИТОВЫЙ МАТЕРИАЛ

Зона содержания алевритовых фракций 0,1-0,01 мм (30-50%) занимает самую большую площадь дна Чукотского шельфа, что отражает особенности состава сносимого терригенного материала из разных источников. Содержание алеврита постепенно

уменьшается по мере приближения к берегам (30-10 и 10-5%) и к более глубокой северной части моря (30-10%). В районе Центральной возвышенности также отмечено содержание алевритовых фракций в донных осадках, равное 30-10%. Обнаружены небольшие локализованные участки повышенного содержания алевритов (более 50%) в южной и северной частях моря и в зал. Коцебу (фиг. 2). В отличие от распределения грубозернистых и песчаных фракций минимальные содержания алевритовых частиц приходится на прибрежные части дна; отсюда, как указывалось, вследствие высокой гидродинамической активности фракции 0,1-0,01 мм выносятся в более «затишные» зоны глубокого дна. Участки наиболее высоких содержаний (30-10%) фракции крупного алеврита (0,1-0,05 мм) распространяются на основную часть поверхности шельфа и ближе подходят к берегам, чем фракция мелкого алеврита (0,05-0,01 мм). Последняя тяготеет в основном к более глубоководной части бассейна. В районе Чукотского желоба и глубоководной северной области дна содержание крупного алеврита снижается до 5-1%, тогда как мелкого остается постоянным - до 10-30%.

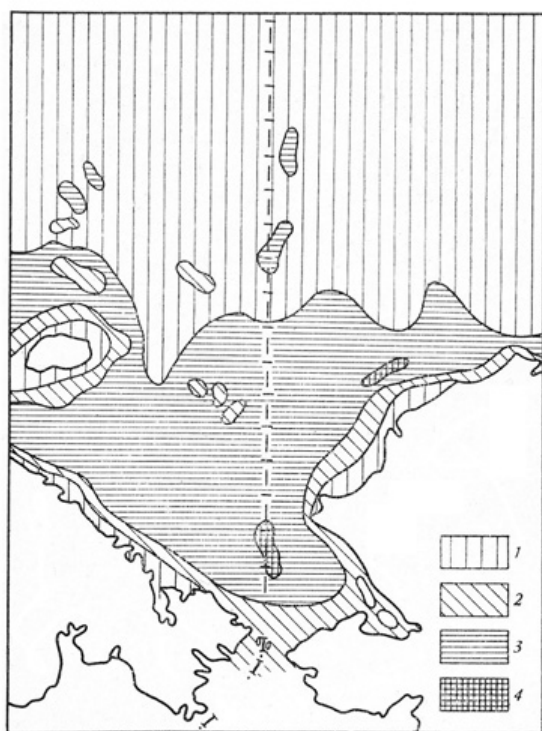
Схема распределения крупного алеврита (фиг. 3) в общих чертах повторяет схему суммарного распределения алевритовых фракций, но с несколько сдвинутыми процентными содержаниями в сторону уменьшения. Максимальные концентрации (более 30%) приурочены к Чукотской котловине (точнее, к ее бортам) и к нескольким участкам в восточной и юго-восточной частях шельфа. Минимальные (в среднем 1-5%) тяготеют к прибрежной зоне около Чукотского полуострова, Аляски и о. Врангеля, откуда основная масса материала алевритовой крупности выносится в гидродинамически более спокойные зоны. В северной глубоководной области моря и в самом Чукотском желобе минимум крупного алеврита обусловлен ограниченностью дальности переноса во взвешенном состоянии и значительным разбавлением пелитовым материалом.

Распределение алевритовой фракции имеет существенные отличия. Наиболее высокие ее концентрации (более 30%) отмечены в Чукотской котловине, на днище которой происходит активное накопление алеврито-пелитовых илов в условиях ослабленной динамики вод. Отличие фракции мелкого алеврита от крупного состоит в том, что при взмучивании мелкоалевритовые частицы очень трудно отделяются от пелитовых, достаточно легко переносятся во взвеси и затем отлагаются, создавая высокие концентрации в ближайших «затишных» зонах. При длительной транспортировке частицы мелкого алеврита постепенно отделяются от пелитовых и более или менее равномерно распределяются на морском дне, содержание их обычно равно 5-10% (фиг. 4). В этом состоит основная особенность распределения мелкого алеврита - невысокие процентные содержания и вместе с тем повсеместное распространение по дну моря [Лисицын, 1966; 1974]. Минимальные концентрации фракции 0,01-0,05 мм занимают более обширные площади дна у берегов по сравнению с фракцией 0,05-0,1 мм, что объясняется, очевидно, большей подвижностью мелкоалевритовой фракции. Кроме того, крупный алеврит легко отделяется от пелита, но характеризуется ограниченным переносом во взвеси. Сортировка алевритовых осадков колеблется в более значительных пределах по сравнению с песчаными, но часто схожа с сортировкой гравийно-галечных осадков. Встречены как хорошо отсортированные, так и средне- и плохоотсортированные крупно- и мелкозернистые алевриты.

ПЕЛИТОВЫЙ МАТЕРИАЛ

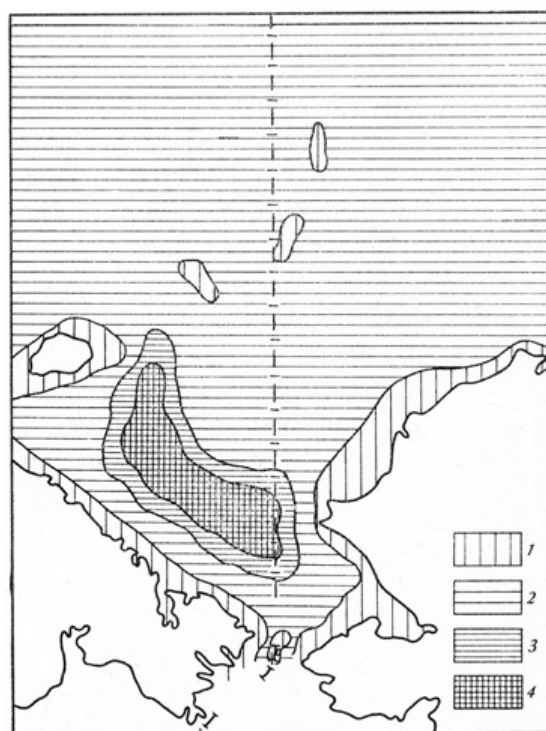
Распределение фракций менее 0,01 мм указывает на их высокую подвижность. Зоны их процентных содержаний с незначительными расхождениями в крупнозернистых осадках по существу обуславливают распределение основных типов гранулометрического состава осадков (фиг. 5). Наиболее низкие концентрации пелитовых фракций приурочены к прибрежной части дна у Чукотки, Аляски и о. Врангеля, а также к району Центральной возвышенности (до 1-5%) в отличие от распределения песчаных осадков. Такая

закономерность может быть объяснена повышенной динамичностью прибрежных вод, способствующих выносу пелитовых фракций из указанных областей дна. Далее от берега рост содержания пелита в осадках происходит наряду с увеличением глубин, а на севере - с повышением ледовитости бассейна, что создает затишные в гидрологическом отношении участки, которые обеспечивают устойчивое накопление пелитовых илов. На открытом шельфе эти зоны довольно хорошо увязываются с рельефом дна. Зона, содержащая 50-70% пелита, целиком располагается в Чукотской котловине и по периферии глубоководной северной части моря. Наиболее высокие содержания (более 70%) фракции мельче 0,01 мм обнаружены в Чукотском желобе и глубоководной северной части морского дна, прилегающей к континентальному склону. Сортировка большинства собранных проб пелитовых осадков высокая - коэффициент ее равен 1,2-2,2. Встречаются также осадки со средней и плохой сортировкой, в основном по бортам отрицательных форм рельефа.



Фиг. 3. Схема распределения крупного алеврита (фракция 0,1—0,05 мм) в донных осадках Чукотского моря

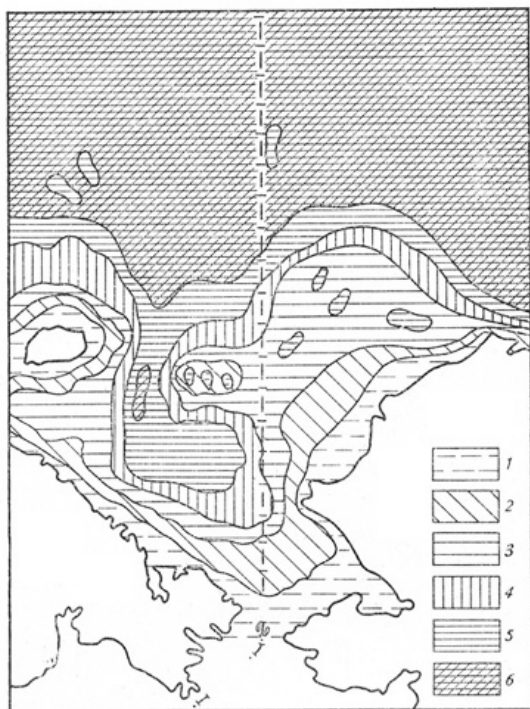
1—1—5%; 2—5—10%; 3—10—30%;
4—более 30%



Фиг. 4. Схема распределения мелкого алеврита (фракция 0,05—0,01 мм) в донных осадках Чукотского моря

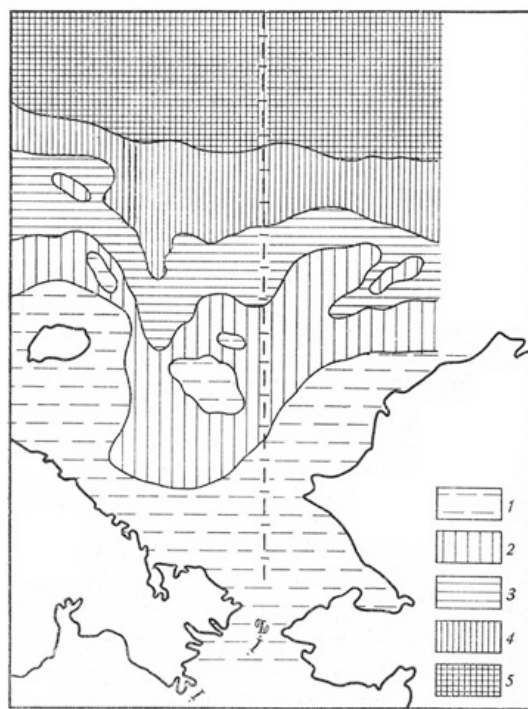
1—1—5%; 2—5—10%; 3—10—30%;
4—более 30%

Схема распределения субколлоидной фракции (мельче 0,001 мм) показывает низкие концентрации ее на основной части площади шельфа Чукотского моря - около 5-10% (фиг. 6). В гидродинамически наиболее активных зонах, занимающих области Западного, Восточного, Врангелевского мелководий, Берингов пролив и Центральную возвышенность, отмечены минимальные содержания - до 1%. К северу, в сторону глубоководной части моря, концентрация субколлоидной фракции растет вместе с увеличением глубин у континентального склона - до более чем 50%. В целом можно отметить, что субколлоидная фракция почти полностью выносится в самые глубоководные части Чукотского моря и далее в центральную часть Северного Ледовитого океана. Лишь в очень малом количестве она поступает в осадки халистатических зон шельфа.



Фиг. 5. Схема распределения пелитового материала (фракции мельче 0,01 мм) в донных осадках Чукотского моря

1—1—5%; 2—5—10%; 3—10—30%; 4—30—50%; 5—50—70%; 6—более 70%



Фиг. 6. Схема распределения субколлоидных фракций мельче 0,001 мм в донных осадках Чукотского моря

1 — 1—5%; 2 — 5—10%; 3 — 10—30%; 4—30—50%; 5 — более 50%

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ОСАДКОВ

Изучение распределения основных фракций, формирующих донные осадки Чукотского моря, показывает, что наиболее широко распространена (содержание более 50%) пелитовая фракция мельче 0,01 мм, а затем в порядке убывания по занимаемой площади следуют алевритовая и песчаная в соответствии с продуктивностью различных источников питания терригенным осадочным материалом. Широкое развитие пелитовых осадков на сравнительно небольших глубинах обусловлено не только гашением подвижности морских вод ледовым покровом, что вообще характерно для полярных морей. Это явление также связано с огромным поступлением пелита, намного превосходящим снос его в другие полярные моря в расчете на единицу площади морского дна.

Морские льды не только способствуют увеличению дисперсности осадков, но и служат важным фактором переноса и поступления на дно грубообломочного материала, хотя в них включены песчаные, алевритовые и более мелкие осадки. Разгрузка морских льдов происходит вдалеке от берега, на что указывают довольно низкие концентрации грубообломочного материала в южной части морского шельфа. Не успевший растаять припайный и берингоморский лед тает в основном в прикромочной зоне, на что указывает область высоких концентраций рассеянного грубообломочного материала, хорошо увязывающаяся со средним положением кромки в навигационный период. Подобный признак характерен также для Баренцева [Кленова, 1960], Берингова [Лисицын, 1966], Охотского [Безрукова, 1960] и других морей. По-видимому, небольшая часть крупнозернистого материала, пока не поддающаяся подсчету, транспортируется материковыми льдами, поступающими от берегов Канадского архипелага. Песчаный

материал сносятся в море в основном в результате абразии клифов и бенчей (см. балансовые расчеты), а также повторного перемива осадков в гидродинамически активных зонах. Интенсивность абразионного сноса определяется в основном литолого-петрографическим составом пород, слагающих абразионные участки, и характером дифференциации исходного осадочного материала в прибрежно-морских фациальных условиях.

В соответствии с выполненными исследованиями распределение отдельных фракций донных осадков Чукотского моря подчиняется основным законам механической дифференциации. Наиболее четко она проявляется у песчаной (1,0-0,1 мм) и пелитовой (мельче 0,01 мм) фракций и менее выражена у алевритовой и субколлоидной. В целом же от берегов в сторону открытого моря происходит увеличение количества тонкозернистых и уменьшение грубозернистых частиц. В подобных закономерностях находит отражение циркумконтинентальная зональность осадконакопления [Безруков, 1960; Лисицын, 1974]. На общем фоне циркумконтинентальной зональности отчетливо выступает и вертикальная (гипсометрическая), проявляющаяся в изменениях гранулометрического состава в зависимости от глубин, причем в морских фациальных условиях на гранулометрию осадков влияют не столько абсолютные глубины, сколько относительные перепады глубин и конфигурация рельефа дна [Лисицын и др., 1966; Revelle & Shepard, 1955; Trask, 1932]. Эта закономерность, давно обнаруженная для многих других морей, оказывается, характерна и для Чукотского моря, что указывает на общность черт распределения осадочного материала в различных седиментационных зонах Мирового океана.

Определенный отпечаток на гранулометрию осадков накладывает также ледовый покров. Его влияние помимо уже отмеченного выше приводит к ухудшению сортировки осадков, особенно в областях распространения алевритов, где ослаблено влияние динамики вод и разбавление пелитовым материалом ухудшает сортировку по сравнению с песками и пелитом. Коэффициент сортировки по типам осадков в большинстве проб более низок у песков и пелита и более высок у алевритов. Чукотское море отличается высокой продуктивностью источников сноса терригенного осадочного материала. Она выше, чем у таких крупных водных бассейнов, как Балтийское, Черное, Японское моря. В отличие от многих других бассейнов основным источником поступления терригенного осадочного материала в Чукотское море является Тихоокеанское течение, приносящее в основном алеврито-пелитовый материал. Это накладывает существенный отпечаток на процессы седиментации в море. Важное значение имеют абразионные процессы как источник терригенного материала. Под влиянием абразии клифов и бенчей в Чукотское море поступает почти треть всех терригенных обломков, что более чем в 5 раз превышает продуктивность твердого стока рек. Абразионный снос активно укрупняет донные осадки, особенно когда он действует совместно с морскими льдами.

Литература

1. Антонов В.С. О роли рек в режиме Арктических морей. - Тр. II Всес. географ. съезда, М., 1948, т. 2.
2. Арэ Ф.Э. Термоабразия морских берегов. М.: Наука, 1980.
3. Бабаев Ю.М., Жиндарев Л.А. Основные черты развития рельефа лагунного побережья Чукотского полуострова в голоцене. - В кн.: Исследование динамики рельефа морских побережий. М.: Наука, 1979.
4. Безруков П.Л. Донные отложения Охотского моря. - Тр. Ин-та океанол. АН СССР. М., 1960, т. 32.
5. Белов Н.А. Общая оценка и пути разноса осадочного материала в районе сибирского шельфа. - В кн.: Материалы XXIII Междунар. географ. конгресса. Симпозиум «Полярные страны». Л.: ГО СССР, 1976.
6. Белов Н.А., Ерофеев П.Н. О взвешенных веществах моря Лаптевых - Тр. ААНИИ. Л., 1963, т. 264.

7. Белов Н.А., Огородников В.И. [Особенности современного осадкообразования в некоторые вопросы геохимии донных осадков шельфа Чукотского моря.](#) - Вестник ЛГУ, 1976, № 24, сер. геол. и географ.
8. Ионин А.С., Каплин П.А., Леонтьев О.К. и др. Особенности формирования рельефа и современных осадков прибрежной зоны Дальневосточных морей. М.: Наука, 1971.
9. Ионин А.С., Медведев В.С., Павлидис Ю.А. Морфолитогенез и его типы на шельфах морей и океанов. - Океанология, 1980, т. 20, вып. 5.
10. Каплин П.А. Особенности динамики и строения берегов полярных морей. - В кн.: Новые исследования береговых процессов. М.: Наука, 1971.
11. Кленова М.В. Геология Баренцева моря. - В кн.: Морская геология, XXI Межд. геол. конгресс, докл. сов. геологов, пробл. 10. М.: Изд-во АН СССР, 1960.
12. Клюев Е.В. Роль мерзлотных факторов в динамике рельефа дна полярных морей. - Океанология, 1965, т. V, вып. 5.
13. Клюев Е.В. Термическая абразия прибрежной полосы полярных морей. - Изв. ВГО, 1970, т. 102, вып. 2.
14. Леонов А.К. О водообмене Северного Ледовитого и Тихого океанов через Берингов пролив. - Тр. II Всес. географ. съезда. М., 1948, т. 2.
15. Леонов А.К. Региональная океанография. Т. I. М.-Л.: Гидрометеиздат, 1960.
16. Лисицын А.П. Процессы современного осадкообразования в Беринговом море. М.: Наука, 1966.
17. Лисицын А.П. Осадкообразование в океанах. М.: Наука, 1974.
18. Лисицын А.П., Мурдмаа И.О., Петелин В.П., Скорнякова Н.С. Гранулометрический состав осадков Тихого океана. - Литол. и полезн. ископ., 1966, № 2.
19. Львович М.И. Элементы водного режима рек земного шара. - Тр. НИУ ГМС СССР. 1945, сер. 4, вып. 18.
20. Лонгинов В.В. Очерки литодинамики океана. М.: Наука, 1973.
21. Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. Л.: Гидрометеиздат, 1974.
22. Огородников В.И. Современное осадконакопление на шельфе Чукотского моря: Автореф. дис. на соискание уч. ст. канд. геол.-минералог. наук. Одесса, 1977.
23. Шуйский Ю.Д., Огородников В.И. О роли абразионных берегов как источника сноса обломочного материала в Чукотское море. - Докл. АН УССР, сер. Б, 1978, № 10.
24. Hartwell A.D. [Classification and relief characteristics of northern Alaska's coastal zone.](#) - Arctic, 1973, v. 26, № 3.
25. Revelle R.R., Shepard F.P. Sediments of the California coasts. - In: Recent marine sediments. Tulsa, 1955.
26. Shepard F.P. Continental shelf sediments. - In: Recent marine sediments. Tulsa, USA, 1939.
27. Trask P. Origin and environments source bed of petroleum. - Amer. Petrol. Inst. Houston Gulf Publ., 1932, v. 52.

Одесский государственный университет
Институт геологических наук АН УССР, Киев

Поступила в редакцию
16.X.1979

Ссылка на статью:



Шуйский Ю.Д., Огородников В.И. Условия осадконакопления и основные закономерности формирования гранулометрического состава терригенных осадков Чукотского моря // Литология и полезные ископаемые. 1981. № 2. С. 11-25.