

ЧУВАРДИНСКИЙ В. Г.

ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПРИПАЙНЫХ ЛЬДОВ

(по исследованиям в Белом море)

С 1963 по 1982 г. (с перерывами в 1972 и 1981 гг.) автор изучал современные процессы захвата и разноса валунного материала припайными льдами и их рельефообразующую деятельность в Кандалакшском заливе Белого моря. При этом в 1965—1969 гг. на нескольких участках береговой линии (и на островах) с разным гидродинамическим режимом льдов проведен количественный подсчет валунного материала ледового захвата и разноса.

Кандалакшский залив (северо-западная часть Белого моря) глубоко вдается в восточную часть Балтийского щита и в структурном плане занимает одноименный грабен. Дно залива, его берега и острова сложены архейскими и протерозойскими метаморфическими породами — преимущественно гнейсами беломорской серии и породами гранулитовой формации. Эти породы прорваны интрузиями гранитов, основных и ультраосновных пород. Значительное развитие имеют более молодые жильные образования. Четвертичные отложения в виде несплошного чехла различной мощности залегают непосредственно на кристаллических породах щита. Рельеф района Кандалакшского залива имеет типичное блоково-тектоническое строение, здесь широко проявились молодые тектонические дислокации — сбросы, взбросонадвиги, сдвиги [1]. Для района характерна сравнительно высокая современная сейсмичность.

Хотя Кандалакшский залив расположен в Приполярье, климат района умеренный. Ледовые условия также можно отнести к умеренному типу. Замерзание залива происходит в ноябре — январе (чаще в декабре), вскрытие — в апреле — начале июня (чаще всего в мае). Толщина морских льдов 0,3—0,7, припая 0,5—1,5 м. Кандалакшский залив имеет приливный режим. Приливы правильные, полусуточные, величина прилива от 2 до 3,5 м. Соленость вод залива пониженная — 20—22‰.

Строение литорали и особенности динамики припайных льдов. Приливо-отливные колебания уровня моря обуславливают существование вдоль всего побережья Кандалакшского залива и вокруг островов зоны осушки, или литорали. Литораль имеет отчетливое зональное строение. Здесь выделяются следующие элементы (начиная с мористой части литорали): а) валунная гряда высотой до 2—2,5 м, б) плоскодонная западина, сложенная валунно-песчаными или валунно-супесчаными отложениями и в) прибрежная галечно-валунная полоса. Первые две зоны осушки полностью затопляются при приливах, тогда как прибрежная галечно-валунная полоса фиксирует наиболее высокий уровень приливных и стонно-нагонных явлений.

Припайные льды непрерывной полосой окаймляют побережье, острова и отмели. Глубина, на которой образуется припай, 1—5 м (считая от уровня прилива), но иногда, при подсовах льдов, она может составить 7—8 м. Припай образуется не только в пределах литорали, но захватывает и часть верхней сублиторали.

Приливо-отливные явления обуславливают зональное строение припая (рис. 1); здесь выделяются: подошва припая — полоса льда, занимающая зону осушки между внешней валунной грядой и берегом, б) внешняя (мористая) часть припая, которая начинается от валунной гряды и захватывает часть сублиторали, прилежащую к этой гряде, до глубин порядка 5 м. Вследствие напряжений во льдах, возникающих при приливах и отливах, припай разбит на блоки системой продольных и поперечных трещин. Размер блоков льда обычно 10×30 м.

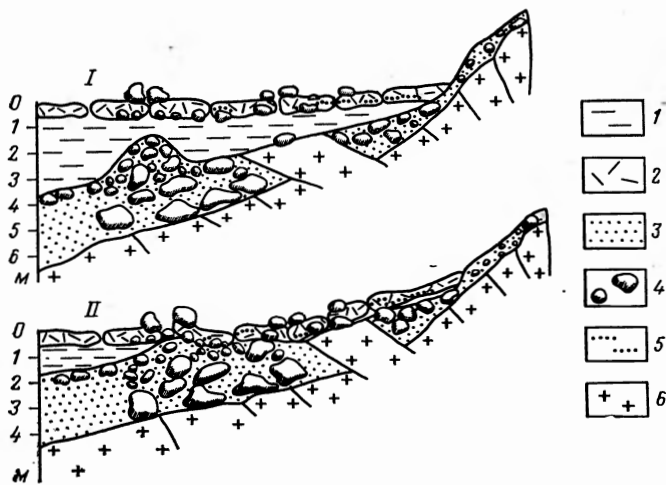


Рис. 1. Строение и схема загрузки припая Кандалакшского залива терригенным материалом:

1 — уровень моря при приливе (I) и отливе (II), 2 — припайный лед, 3 — пески, 4 — валуны и глыбы, 5 — галька и гравий, 6 — коренные породы

Процессы захвата грубообломочного материала припайными льдами.

Включение грубообломочного материала в припайные льды происходит в течение всего ледостава, но начинается с подошвы припая, охватывая затем и его мористую часть. Сформировавшийся к началу ледохода разрез припайных льдов изображен на рис. 1. Существуют три типа залегания валунного и другого материала в припайных льдах, обусловленные разным механизмом его захвата: а) на поверхности припая, б) в донной части льдов и в) во внутренней части льдин.

Наибольшее количество валунно-глыбового материала, включаемого в те или иные части припая, накапливается на его поверхности. В советской и зарубежной литературе распространено мнение, что на поверхность льдов обломки пород попадают из береговых обрывов. Наши наблюдения показывают, что валуны в основном поступают на лед непосредственно со дна литорали и верхней сублиторали [2]. Механизм этого процесса заключается в следующем: глыбы, валуны и более мелкий материал, лежащий на дне, при периодических посадках припая на грунт оказывается в полосе припайных трещин. При сжатиях и торошениях льдов эти валуны и другой материал выдавливаются по трещинам в припая на поверхность льдов. Такое выдавливание (или выжимание) терригенного материала происходит в течение всего ледостава, но наиболее интенсивно в феврале — марте. Часть вытолкнутых на лед валунов при новых торошениях льдов отодвигается от линии трещин в средние части льдин. Рассмотренный механизм неоднократно наблюдался нами непосредственно в природных условиях и подтверждается следующими данными.

а. Валунно-обломочный материал на поверхности припая в основном сосредоточен вблизи трещин в припая. При этом его наибольшее количество и самые крупные валуны и глыбы приурочены к зоне максимального напряжения припайных льдов — к трещине между подошвой и мористой частью припая.

б. Неоднократно наблюдались случаи нахождения валунов в трещине между льдинами припая, т. е. валуны были лишь частично выжаты со дна литорали. При этом в донных грунтах можно было видеть выемки, прежде занятые этими валунами.

в. Выемки от валунов часто приурочены к валунной гряде — границе наиболее напряженных частей припая.

г. Валуны, глыбы, гальки и щебень, лежащие на поверхности припая, несут отчетливые следы пребывания в морской среде — на них по-

всеместно наблюдаются колонии баянусов, к ним прикреплены морские водоросли с раковинами мидий.

Подтверждением изложенного механизма выдавливания обломочного материала на поверхность льдов может служить и сгребание льдами донных отложений в грядообразные валы, которые расположены не только вдоль главной припайной трещины, но и вдоль второстепенных трещин. При этом донные отложения — щебнистые супеси и пески также выдавливаются на поверхность припая.

Что касается выпадения обломков пород на лед из береговых обрывов, то этот процесс имеет место, но масштабы его крайне незначительны. Нами отмечались только единичные обломки пород, несомненно упавшие на лед со скалистых береговых обрывов высотой 50—90 м. О наземном происхождении таких обломков свидетельствовало наличие на их поверхности лишайников, остатков корневой системы наземных растений (в трещинах обломков). Основная же масса валунов вблизи таких обрывов несла следы пребывания в морской среде.

Примерзание к донной части припайных льдов валунов, щебня, песка и другого материала происходит в зонах литорали и верхней части сублиторали. Этот процесс широко распространен до глубин 2—4 м (считая от уровня прилива). В донную часть припая вмержают как валуны, так и целые пласты грунтов — песчано-галечных или глинисто-щебнистых. Весьма часто терригенный материал в донной части льдов залегает послойно. Это связано с периодическими посадками припая на грунт при отливах, когда ко льду примерзает обломочный материал, и всплывшем припая при приливах, когда к переохлажденным в субаэральных условиях льдам снизу примерзает новый слой льда.

Залегание обломочного материала внутри (в разрезе) припайных льдов — явление, широко распространенное в Кандалакшском заливе. По существу оно представляет развитие процесса нарастания льда снизу и сверху и результат захоронения под слоями льда материала, ранее выдавленного на поверхность, а также материала, примерзшего к днищу льдин. Нарастание льда сверху и погребение под ним каменного материала, лежащего на поверхности припая, происходит при приливных и нагонных явлениях, когда на поверхность припая через трещины поступает большое количество морской воды. Смерзаясь со снегом, она образует наледный лед. В зависимости от толщины наледного льда и величины обломков пород последние могут быть захоронены во льду полностью или частично. Неоднократное поступление на поверхность припая обломков пород и намораживание льда сверху приводят к чередованию слоев обломочного материала и льда.

Внутриледное положение обломочный материал принимает и при процессах нарастания льда снизу, когда на ранее примерзший материал намерзает слой придонного льда. Этот механизм рассматривался выше. Если процессы намерзания обломочного материала и льда к донной части припайных льдин происходят неоднократно, то валуны или другой материал начального цикла примерзания нередко оказываются в средней части разреза льдов (рис. 2). В одной и той же льдине иногда наблюдается перекрытие обломков пород как наледным льдом, так и льдом, нарастающим снизу.

Вместе с терригенным материалом на поверхности припая, в его донной части и внутри льдов наблюдается значительное количество раковин морских моллюсков (мидий, песчаной ракушки), морских желудей — баянусов, а также водорослей — фукусов, зостеры, анфельции. Механизм попадания на поверхность припая биогенного материала, включение его в разные части припайных льдов тот же, что и для терригенного материала. Кроме того, водоросли попадают на лед при нагонах во время начала ледостава.

В разные части льдов включается разнообразный по механическому составу материал — от глинистых частиц до валунов и глыб. Наиболее крупные валуны и глыбы (до 2 м в поперечнике) выталкиваются на поверхность припая, валуны меньших размеров вмержают в днище и вклю-



Рис. 2. Валуны и более мелкий материал на поверхности и в донной части льда. Льдины мористой части припая вынесены приливом на подошву припая, примороженную к грунтам. Длина масштабной рейки 0,9 м. Отлив

чаются в тело льдин. Окатанность материала различная — от совершенно неокатанных глыб и щебня до округлых валунов и галек. Форма валунов разного петрографического состава меняется от угловатой и брусковидной до утюгообразной и округлой. Состав валунного материала в целом отвечает составу поверхностных и подстилающих пород. Это преимущественно гнейсы, мигматиты, амфиболиты, граниты, анортозиты, габбронориты. Валунно-глыбовый материал поступает как за счет разрушения коренных пород в зоне литорали и скальных выходов в прибрежных частях залива, так и за счет перемыва валунодержущих четвертичных отложений.

Принято считать, что разрушение выходов коренных пород происходит путем выветривания. В определенной мере это так, но важную роль в поставке глыбового материала играют тектонические движения по разломам. Разрушение сильно трещиноватых смещенных блоков пород и дает основную массу глыбового материала, который несет ясные следы тектонического дробления — зеркала скольжения со штриховкой на плоскостях, следы скальвания. Разрывные тектонические смещения в Кандалакшском заливе происходят и в настоящее время, на что указывает и сравнительно высокая сейсмичность Кандалакшского грабена.

Разнос валунного материала припайными льдами. Разрушение морских льдов начинается в шхерном районе залива с его сильными приливо-отливными течениями. На таких участках взламывание и дрейф припайных льдов происходят сразу за разрушением или отгоном морского льда или одновременно с ним. На участках с меньшей гидродинамической активностью морских вод морские льды и припай взламываются значительно позднее. Вершинная часть Кандалакшского залива вскрывается раньше, чем юго-восточная, что препятствует выносу льдов из северо-западных частей залива в открытые части Белого моря. В результате основная масса валунодержущего припая шхерного района разгружается в относительно замкнутой акватории залива.

В первую очередь выносятся льды мористой части припая, затем льды подошвы припая — та часть его, которая подвержена вертикаль-

ным колебаниям при приливо-отливных явлениях. Вынос этих частей припая обычно осуществляется отливными течениями и может происходить при совершенно тихой погоде. Полоса припая, непосредственно скрепленная с мелководными участками берега, выносится частично — при совпадении сизигийных приливов со сгонными ветрами.

Припайные льды транспортируют в море биогенный и терригенный материал, сосредоточенный на поверхности льдов, в их донной части и внутри льдин. Наиболее крупные валуны и глыбы иногда до 1,5—2 м в поперечнике транспортируются на поверхности припая и внутри льдин. Величина обломков пород, переносимых в донной части припайных льдин, не превышает 0,7 м в поперечнике.

Направление дрейфа валуносодержащих льдов преимущественно юго-восточное — в соответствии со стоковыми и отливными течениями. Однако этот дрейф сильно осложнен ветровым воздействием и особенно приливными течениями, под влиянием которых льды дрейфуют и в обратном направлении.

Количество грубообломочного материала ледового захвата. Подсчет количества валунного и другого материала ледового захвата (и разноса) осуществлялся на 11 участках длиной от 0,8 до 3 км в течение пяти сезонов. Эти участки расположены на отрезках береговой линии залива и на островах и характеризуются разным гидродинамическим режимом припая и приливо-отливных течений. Подсчитывалось количество (с разбивкой по размеру и составу) валунов и глыб, лежащих на поверхности припая и включенных в разные части льдов, в пересчете на 1 пог. км припайной полосы. Количество мелкообломочного материала оценивалось приблизительно, так как этот материал (особенно песчано-илистая фракция) зачастую приморожен к припаю (и заморожен в лед) и определение его объема технически затруднено. На этих же участках производился подсчет количества грубообломочного материала, уносимого льдами с 1 пог. км полосы припая при его взламывании и дрейфе.

В целом данная методика не может считаться совершенной, так как более или менее точно можно подсчитать лишь количество валунного материала, лежащего на поверхности припая. Учет терригенного материала в донной части и в разрезе льдин возможен только в сравнительно редких случаях — когда льдины надвинуты одна на другую, на крупные валуны, сели на мель или перевернуты. Для основной массы придонных и внутренних частей припайных льдов, следовательно, возможно только экстраполяция количества материала ледового захвата и разноса. Для определения примерного соотношения объема валунно-глыбового материала ледового захвата и разноса проводилась маркировка краской валунов и глыб, лежащих на поверхности припая.

Подсчет маркированных каменных обломков, оставшихся в пределах литорали после ледохода, позволял уточнять количество валунного материала ледового разноса, учитываемого визуально при взламывании и дрейфа льдов. Однако другой, более совершенной методики подсчета материала ледового захвата и разноса пока не существует. Нельзя считать достаточно точным и подсчет количества материала, содержащегося в 1 м³ льда, путем плавления образцов льда, примененный Ю. Д. Шуйским и В. И. Огородниковым [3] для льдов Чукотского моря. Растопленные образцы льда слишком малы, чтобы судить о количестве материала даже галечной, не говоря о валунно-глыбовой фракции.

Визуальный подсчет количества валунов и оценка объема более мелкого материала ледового захвата в Кандалакшском заливе дали следующие результаты:

1. На участках высокой интенсивности приливо-отливных течений нагрузка 1 пог. км припайной полосы составляет в среднем 64 м³ терригенного материала (в основном валунов), в том числе на поверхность припая поставляется примерно половина этого объема. Припай данного типа занимает около 30% длины береговой линии Кандалакшского залива.

2. На участках со слабым динамическим воздействием приливо-отливных течений в припайные льды в расчете на 1 км полосы припая вмораживает порядка 29 м^3 терригенного материала — в основном песчано-глинистого. При этом основная масса материала примерзает к донной части льдов. Припай такого типа характерен для 20% береговой линии залива.

3. На участках с умеренным гидродинамическим режимом загрузка льдов каменным материалом в среднем составляет 37 м^3 на 1 км припайной полосы, из них на поверхность припая выдавливается $17\text{—}18 \text{ м}^3$ материала — в основном валунов. Припай этого типа занимает около 50% длины всей береговой линии залива (включая острова и отмели).

С учетом этих данных средняя загрузка 1 пог. км полосы припая составляет около 45 м^3 , или в пересчете на весовые категории 100—110 т каменного материала на 1 км припая.

Количество терригенного материала ледового разноса. Далекое не весь объем материала, включаемого в разные части припая, выносится в море, за пределы литорали. При наблюдениях за угоном припая установлено следующее.

1. Припай приглубых берегов со сравнительно узкой литоральной зоной почти полностью выносится в море. Здесь обнаружен самый высокий процент выноса терригенного материала ледового захвата (50—60%). С 1 пог. км дрейфовым путем выносится $22\text{—}23 \text{ м}^3$ материала в основном валунной размерности. Припай данного типа занимает примерно $\frac{1}{3}$ береговой линии.

2. Припай в пределах отмелых берегов и мелководных кутовых частей бухт большей частью остается на месте. При этом выносятся мористой частью припая и частично льды подошвы припая. С 1 пог. км полосы припая здесь выносится около 6 м^3 терригенного материала в основном песчано-галечной размерности. Припай данного типа занимает примерно $\frac{1}{5}$ длины береговой линии залива.

3. Относительно широкая полоса припайных льдов (в среднем 100 м) характерна для берегов с хорошо выраженной зоной осушки. Длина полосы рассматриваемого типа припая составляет около половины всей береговой линии Кандалакшского залива, а дрейфовый вынос обломочного материала составляет около 40% от общей загрузки припая, в среднем около 16 м^3 с 1 пог. км припая. В основном выносятся материал валуно-галечной размерности.

Основываясь на усредненных цифрах, можно оценить объем терригенного материала, ежесезонно выносимого в море припаем. При общей длине полосы берегового припая Кандалакшского залива около 1400 км (вместе с припаем островов, отмелей и мелких заливов — губ) объем материала дрейфового разноса составляет свыше 20 тыс. м^3 (или около 50 тыс. т) в основном валунов, гальки, щебня.

Изучение современных донных осадков в юго-восточной части Кандалакшского залива (процесс ледового разноса материала в этой части залива слабее, чем в его шхерной северо-западной части) показало, что грубообломочный материал ледового разноса в этих осадках составляет заметную примесь [4, 5]. При этом количество грубообломочного материала в современных осадках существенно увеличилось с суббореального времени, когда произошло резкое изменение гидродинамического режима Белого моря [4]. Вероятно, с этого времени возобновился свободный водообмен беломорских вод с океаном через горло Белого моря и как следствие этого — величина приливо-отливных течений резко увеличилась. В свою очередь это привело к активизации дрейфовых процессов.

Процентное содержание грубообломочного материала в современных осадках Кандалакшского залива до сих пор не определялось, так как применявшиеся методы исследований (отбор грунтовых проб вибропоршневыми трубками) не позволяет отбирать в пробу валунный материал. Если исходить из скорости осадконакопления, оцениваемой И. К. Авиловым [6] для разных частей Белого моря от 1,7 до 40 см за

1000 лет, то вклад ледового разноса материала в баланс осадконакопления будет составлять от 1 до 30%. Для Кандалакшского залива, где скорость обычной морской седиментации крайне незначительна [4, 5], а усредненная скорость ледовой седиментации составляет 0,6—0,7 см за 1000 лет, процент ледового разноса грубообломочного материала в общем балансе осадконакопления может колебаться в разных частях залива от 10 до 40%.

Поскольку основная часть материала ледового разноса состоит из валунов, гальки и щебня, включение этого материала в морские илы и пески приводит к формированию ледово-морских валунных суглинков.

Можно отметить, что северо-западная часть Белого моря — не самый благоприятный район для процессов дрейфового переноса материала: из-за мягких зим здесь сравнительно тонок припайный лед, что не позволяет транспортировать валуны и глыбы размером более 1,5—2 м в поперечнике.

Рельефообразующая деятельность морских льдов. В Кандалакшском заливе в отличие от арктических морей мощных торосистых льдов не образуется. Рельефообразующая роль льдов здесь ограничивается выпахиванием, в том числе переворачиванием пластов грунта в мелководных заливах — бухтах. Под напорным действием льдов на границе литорали и сублиторали и в самой прибрежной зоне формируются валунные гряды высотой 1,5—2,5 м. Деструктивная роль припайных льдов проявляется в дроблении раковин моллюсков, соскабливании с валунов и дроблении баянусов, а также в образовании различного рода воронок — следов захваченных льдом валунов и пластов грунта.

Особый интерес представляет вопрос о возможности образования плавучими льдами штриховки и борозд на валунах и коренных выходах кристаллических пород. В литературе со времен Ч. Ляйеля, И. Лопатина, В. Ячевского укоренились представления, что штрихи и борозды на валунах и скалах могут быть оставлены морскими (и речными) льдами — вмерзшими в их днище обломками камней. Этой точки зрения и в настоящее время придерживаются многие исследователи — сторонники концепции гляциомаринизма (Н. Г. Чочиа, И. Л. Кузин, И. Д. Данилов, А. И. Попов, В. С. Зархидзе и др.). В Кандалакшском заливе, как было показано выше, в донную часть припайных льдов вмерзает большое количество терригенного материала. Днища многих льдин представляют своеобразную терку, неровные выступы которой образуют каменный материал различных размеров от гравия и щебня до галек и валунов. Во время ледостава и ледохода происходит торошение и напользание льдов, содержащих в донной части обломочный материал, на отдельные валуны, их скопления, на выступы кристаллических пород. Эти процессы с разной степенью интенсивности происходят ежесезонно и наблюдались нами на всех участках береговой линии Кандалакшского залива.

Но образуют ли припайные льды штрихи и борозды на валунах и коренных кристаллических породах?

Наши специальные исследования, проведенные в 1972—1980 гг. на берегах Кандалакшского залива, показывают, что припайные льды с вмерзшим в их донную часть терригенным материалом (и тем более без него) не оставляют штрихов и борозд на валунах и выходах кристаллических пород. Об этом свидетельствует ежесезонный осмотр одних и тех же валунов и обнажений гнейсов, мигматитов, амфиболитов, габбро-норитов, гранитов, на которые происходило напользание льдин (с вмерзшим к их днищу грубообломочным и песчано-илистым материалом), сличение фотоснимков валунов и обнажений разных лет. Деятельность припайных льдов проявлялась лишь в соскабливании форм биогенного обрастания — баянусов, накипных лишайников, а также выветрелого слоя породы, иногда толщиной до 0,5 см, образовании борозд на илистых грунтах.

Однако на разных участках берега на валунах и обнажениях кристаллических пород наблюдаются штриховка и борозды. Они развиты

на отполированных поверхностях, имеют параллельное или субпараллельное расположение и протяженность (на обнажениях) до нескольких десятков метров. По нашему мнению, эти образования являются тектоническими зеркалами скольжения.

Следует отметить, что вопрос о нанесении штрихов на невыветрелые кристаллические породы и валуны морскими или речными льдами не решается наблюдениями в Кандалакшском заливе. В более суровых условиях арктических морей и рек возможно образование отдельных разноориентированных шрамов и выбоин при напоре валуносодержащих льдов на породы типа мергелей, глинистых сланцев и т. п.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Чувардинский В. Г.* Приповерхностные тектонические деформации и их роль в формировании экзарационного рельефа и деструкции кор выветривания.— В кн.: Коры выветривания и гипергенные полезные ископаемые восточной части Балтийского щита. Апатиты: Изд-во Кольского филиала АН СССР, 1983, с. 104.
2. *Чувардинский В. Г.* О роли припайных льдов в образовании валунных отложений на примере Кандалакшского залива Белого моря.— В кн.: Геология кайнозоя севера Европейской части СССР. М.: Изд-во МГУ, 1966, с. 249.
3. *Шуйский Ю. Д., Огородников В. И.* Условия осадконакопления и основные закономерности формирования гранулометрического состава терригенных осадков Чукотского моря.— Литология и полез. ископаемые. 1981, № 2, с. 11.
4. *Мануйлов С. Ф., Рыбалко А. Е., Спиридонова Е. А., Спиридонов М. А.* Четвертичная геология северо-западной части Белого моря.— В кн.: Стратиграфия и палеогеография четвертичного периода севера Европейской части СССР. Петрозаводск: Изд-во Карельского филиала АН СССР, 1977, с. 47.
5. *Рыбалко А. Е.* Литология верхнечетвертичных отложений Кандалакшского залива и некоторые вопросы седиментогенеза на гляциальных шельфах: Автореф. дис. на соискание уч. ст. канд. геол.-минерал. наук. Л., 1977. 15 с.
6. *Авилов И. К.* Мощность современных осадков и послеледниковая история Белого моря.— Тр. Гос. океанограф. ин-та, вып. 31 (43). Л.: Гидрометеоздат, 1956, с. 5.

Производственное геологическое объединение «Севзапгеология»

Поступила в редакцию
29.V.1984

GEOLOGICAL AND RELIEF-FORMING ACTION OF FAST ICE (BASED ON STUDIES IN THE WHITE SEA)

CHUVARDINSKY V. G.

Summary

Ive rafting of beach debris captured by the fast ice is widespread over the NW part of the White Sea. The process results in marine sediments formation which include ice-rafted boulders. Fast ice in the Kandalaksha Bay does not produce striae or grooves at crystalline rocks and boulders surface.