

А.В. Гаврилов¹, Е.И. Пижанкова²

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ КАРТЫ НАПРАВЛЕННОСТИ КРИОГЕННОЙ ДИНАМИКИ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ (НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО СЕКТОРА АРКТИКИ)

АННОТАЦИЯ

Предложена концептуальная модель динамики мёрзлых и охлаждённых ниже 0 °С пород береговой зоны. Она позволяет выделять в её пределах участки деградации мёрзлых пород, их формирования и стабильного состояния. В основу картографирования положена типизация береговой зоны, осуществляемая на основе факторов, определяющих её преобразование: это геологическое строение, особенно наличие залежеобразующих подземных льдов, и льдистость пород; современные вертикальные движения; гидродинамические процессы; твёрдый сток рек. В зависимости от сочетания перечисленных факторов в одних случаях в береговой зоне происходит осадконакопление, сопровождаемое сингенетическим промерзанием пород. В других случаях берега отступают, а мёрзлые отложения подводного берегового склона протаивают. Это происходит под действием интенсивного засоления в интервале глубин моря 0–2 м, где морской лёд смерзается с дном, и летнего прогрева придонной воды. В третьем случае под стабильными берегами донные породы в интервале глубин 0–2 м преимущественно остаются мёрзлыми и только в интервале от 2 до 3–5 м они являются охлаждёнными. Аллювиально-морское осадконакопление в устьях рек в зависимости от соотношения объёма твёрдого стока и вертикальных тектонических движений может приводить к новообразованию мёрзлых пород или к их погружению под уровень моря, а затем протаиванию.

Картографирование направленности криогенной динамики береговой зоны осуществляется на основе её типизации, региональных мерзлотно-геологических, аэрокосмических и картографических данных. Такая карта составлена на восточную часть моря Лаптевых и западную – Восточно-Сибирского. Она отражает типы мёрзлых и охлаждённых пород: деградирующие, агградирующие, стабильные, а также их подтипы. Основанием для выделения последних явились факторы, определившие динамику состояния мёрзлых и охлаждённых пород. Выделенные подразделения охарактеризованы по мерзлотно-геологическому строению, наличию подземных льдов, объёмной льдистости, неотектонике и криогенным процессам.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

многолетнемёрзлые и охлаждённые породы, субаэральные и субмаринные мёрзлые породы, прибрежно-морское и аллювиально-морское осадконакопление, деградация и агградация мёрзлых пород

ВВЕДЕНИЕ

Исследования береговой зоны арктических морей России показывают, что она постоянно изменяется в связи с климатической ритмикой, деятельностью моря, развитием природных процессов. Эти изменения обуславливают изменения мерзлотной обстановки. Картографирование криогенной динамики береговой зоны до сих пор не производилось, хотя его значимость, как теоретическая, так и практическая, весьма велика. В настоящем сообщении

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет; Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, 1; e-mail: gavrilov37@bk.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет; Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, 1; e-mail: eirijankova@rambler.ru

излагается подход к такому картографированию применительно к арктическим морям. Исследование проводилось в береговой зоне восточной части моря Лаптевых и западной – Восточно-Сибирского. Опорным являлся район Ляховских островов и южного берега пролива Дм. Лаптева.

Геокриологические условия

На суше и в береговой зоне развиты многолетнемёрзлые породы (ММП) сплошного распространения. Охлаждёнными ниже 0 °С породами (ОП) являются преимущественно современные донные морские осадки. Среднегодовая температура субаэральных ММП составляет -11...-15°С, а мощность – 500–700 м [Ершов...,1989]. Мощность субмаринных мёрзлых пород варьирует от 150 до 500 м [Романовский и др., 2006]. В мерзлотно-геологическом строении региона выделяются ледовый и аласный комплексы позднего неоплейстоцена (ЛК) и голоцена (АК) соответственно, отложения морских и аллювиально-морских террас. Ниже залегают отложения крест-юряхской и куччугуйской свит начала позднего и среднего неоплейстоцена соответственно. Окружённые морем полуострова и мысы, как правило, сложены скальными и полускальными породами.

Синкриогенные осадки ЛК имеют преимущественно алевритовый состав. Они содержат мощные полигонально-жильные льды (ПЖЛ). Льдистость пород достигает 80–95 % от их объёма [Ершов..., 1989]. Высокие (до 25–40 м) берега, сложенные ЛК, часто представляют собой два уступа. Нижний подвержен термоабразии. Верхний отделён от нижнего террасой шириной 30–300 м и подвержен действию термоденудации. Термоабразия и термоденудация тесно связаны друг с другом, активизируя попеременное отступление обоих уступов. Преимущественно алевритовый АК включает ПЖЛ, его венчают торфяники. Льдистость достигает 60–70 % от объёма пород. Высота уступов составляет 8–12 м. Для морских и аллювиально-морских террас высота берега не превышает 3–4 м.

Строение клифов зависит от площадного распределения тектонических структур, имеющих прямое выражение в рельефе [Sekretov, 1999]. Так, в горстах рифтовой системы моря Лаптевых в зоне заплеска волн развиты, как правило, малольдистые отложения куччугуйской свиты или коренные породы. Клифы рифтовых грабенов сложены целиком ЛК и АК. Подошва льдистых отложений здесь уходит под уровень моря на 3,5–10 м [Арэ, 2012].

Межрифтовые горсты и рифтовые грабены существенно различаются по плотности геотермического потока. С ним связаны мощность и скорость деградации ММП снизу. Для горстов характерны значения 45–53 мВт/м², для грабенов – предположительно 70–100 мВт/м² [Романовский и др., 2006].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

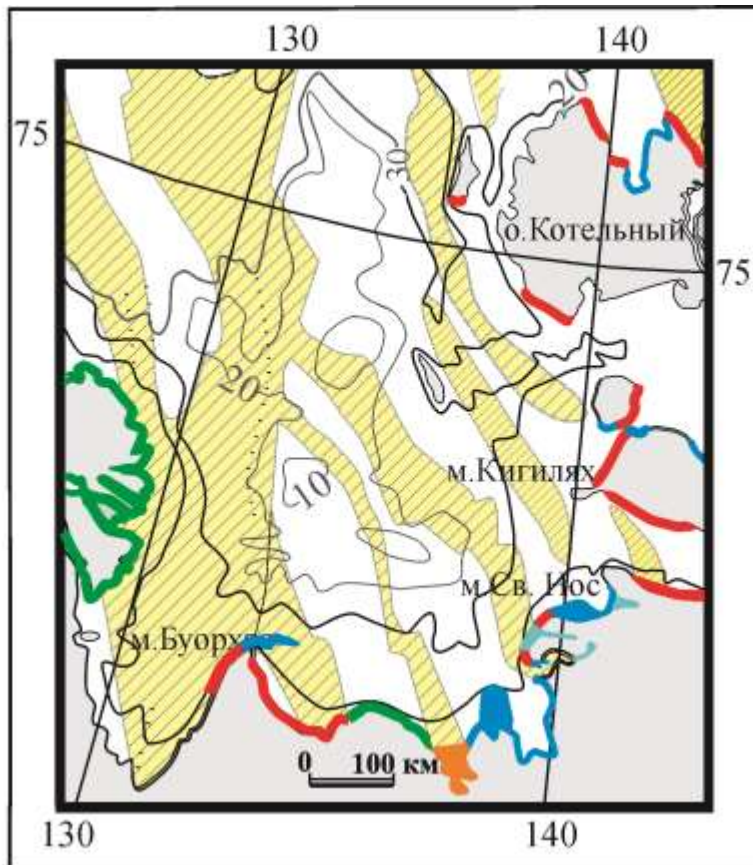
Основными материалами являлись результаты мерзлотно-геологического изучения данных бурения в береговой зоне, аэрофотоснимки 1951 г. и космоснимки Landsat 7 ETM+ 2000 г., Landsat 8 2013 г., комплекс карт: батиметрические, топографические, геологические, геоморфологические, тектонические. Для изучения динамики берегов Ляховских островов и южного берега пролива Дм. Лаптева использовался метод совмещения разновременных и разномасштабных дистанционных данных с помощью программного пакета ScanEx Image Processor. Измерение величин отступления берегов и дешифрирование ландшафтов проводилось в ГИС-среде MapInfo Professional по аэрофотоснимкам, совмещённым с космоснимками Landsat. Деградация и агрегация ММП изучались на основе разнообразных данных. Это буровые данные о распространении и глубине залегания кровли субмаринных ММП, данные об отступании и нарастании берегов в пределах опорного района, полученные при дешифрировании дистанционных материалов. Производилось также математическое моделирование динамики кровли и подошвы ММП.

Основой для прогнозирования криогенной динамики береговой зоны явились составленные нами базы данных по динамике берегов, с одной стороны, и данных бурения о состоянии и температуре пород подводного берегового склона (ПБС) [Н.Ф. Григорьев, 1966; Жи-

гарев, 1981; М.Н. Григорьев, 2008; Арэ, 2012], с другой. Анализ указанных данных, а также результатов математического моделирования динамики субмаринных ММП показал, что использование разновременных дистанционных данных позволяет с высокой достоверностью оценивать направленность динамики ММП и ОП не только надводной, но и подводной части береговой зоны. На участках отступления берегов мёрзлые породы постепенно деградируют сверху и снизу, на участках нарастания берегов – промерзают. Под стабильными берегами в интервале изобат 0–2 м, где лёд смерзается с дном (зона припая), существуют мёрзлые породы [Н.Ф. Григорьев, 1966; М.Н. Григорьев, 2008]. На изобатах от 2 до 5–6 м в восточной части моря Лаптевых и западной – Восточно-Сибирского верхний слой донных пород может пребывать в охлаждённом состоянии. Это связывается с тем, что суммы положительных температур придонной воды в годовом цикле здесь больше суммы отрицательных [Жигарев, 1981; М.Н. Григорьев, 2008].

Исследования показывают, что крупномасштабными картами направленности криогенной динамики береговой зоны, составленными с помощью разновременных дистанционных данных, должны сопровождаться инженерно-геокриологические изыскания по проектированию портовых сооружений и объектов нефтегазового комплекса. В этом случае бурение может применяться преимущественно только в заверочных целях.

Для планирования хозяйственного использования береговой зоны существует необходимость также в обзорных картах. Данных о состоянии донных пород (мёрзлое, охлажденное) и динамике берегов в береговой зоне арктических морей крайне мало. Поэтому в основу методики их составления положена оценка влияния природных факторов на состояние донных пород ПБС, позволяющая произвести типизацию подводного склона по направленности его криогенной динамики. Для картографирования необходим также анализ космоснимков и перечисленных выше карт. Наиболее важными факторами, позволяющими типизировать береговую зону по направленности её вероятной криогенной динамики, являются состав, генезис и льдистость пород, типы подземного льда; положение в морфо- и неоструктуре; гидродинамика береговой зоны; криогенные процессы.



Типы и подтипы мёрзлых и охлаждённых пород по направленности их криогенной динамики

1. Деградирующие:



1.1. в связи с отступанием берегов и переходом субазральных ММП в подводное положение



1.2. в связи с затоплением дельт в отрицательных морфоструктурах

3. Стабильные:



3.1. на участках распространения скальных и полускальных пород



3.2. на участках рыхлых четвертичных отложений

2. Агградирующие:



2.1. в связи с прибрежно-морским осадконакоплением в положительных морфоструктурах



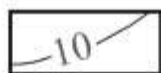
2.2. в связи с аллювиально-морским осадконакоплением преимущественно в положительных морфоструктурах



2.3. в связи с аллювиально-морским осадконакоплением в «нагонных заливах»



Неотектонические структуры:
а – положительные;
б – отрицательные



изобаты

Рисунок 1. Схематическая карта направленности криогенной динамики береговой зоны части морей Лаптевых и Восточно-Сибирского
Figure 1. Schematic map of the part of the Laptev and East Siberian seas showing the coastal zone cryogenic dynamics direction

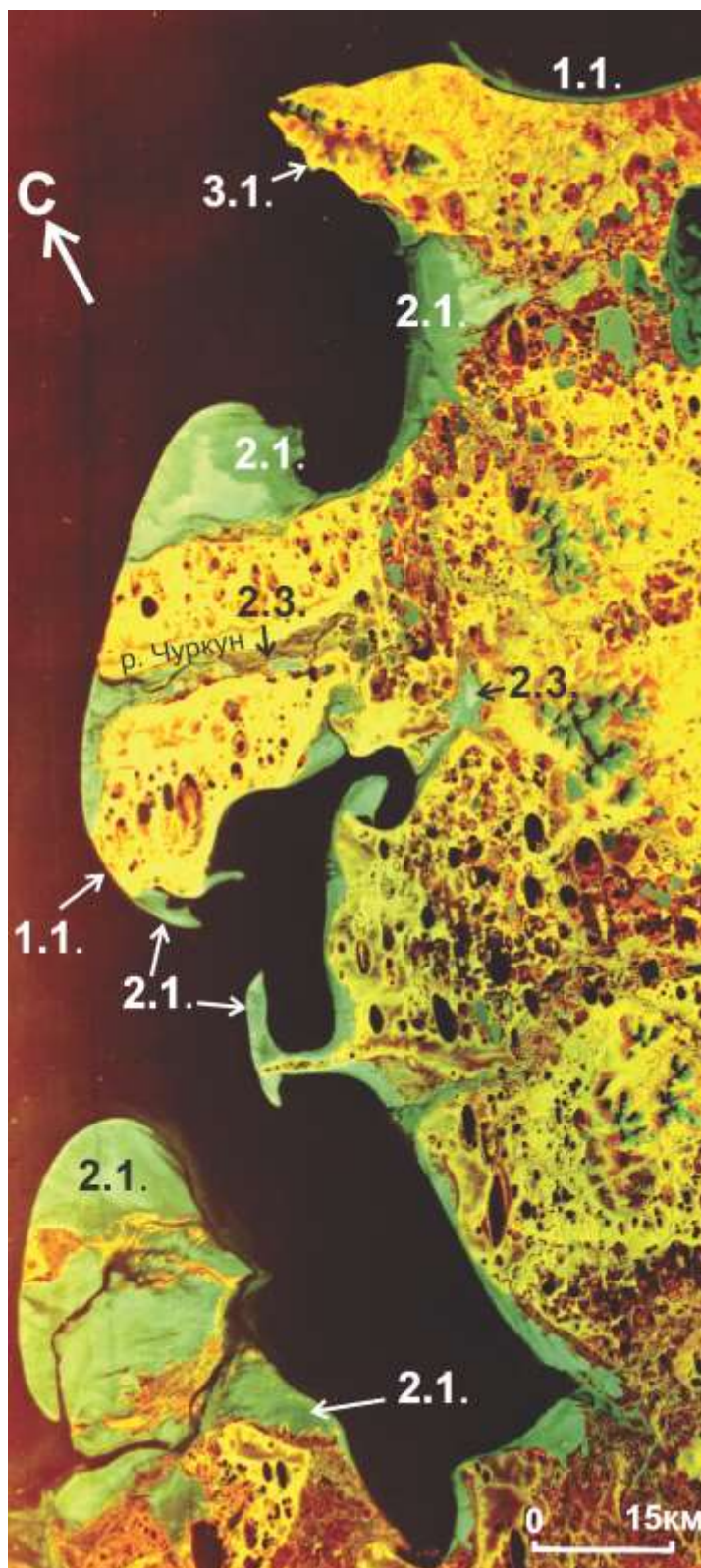


Рисунок 2. Типы и подтипы ММП и ОП береговой зоны по направленности криогенной динамики.
Космоснимок Ресурс-01 12 августа 1980 г.
Figure 2. Types and subtypes of the coastal permafrost and cooled rocks related to the direction of cryogenic dynamics.
Space image Resource-01 August 12, 1980

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследований были получены данные, которые показывают, что на одних участках преобладает процесс отступления берегов с трансформацией мощной субаэральной криолитозоны в субмаринную и её деградацией, на других – берег наращивается сингенетически промерзающими прибрежно- и аллювиально-морскими отложениями, на третьих – береговая зона остаётся в стабильном состоянии. Аналогично изменяется мерзлотная обстановка береговой зоны в других арктических морях.

По направленности мерзлотного процесса (направленности изменений ММП и ОП) были выделены следующие типы: деградирующие ММП (1); агградирующие (2); стабильные ММП и ОП (3). Каждый из этих типов может быть подразделен на подтипы. Первый тип подразделяется на деградирующие в связи с отступанием берегов и трансформацией субаэральных ММП в субмаринные (1.1) и деградирующие в связи с расположением речных дельт в отрицательных морфоструктурах (1.2). В рамках второго типа выделяются агградирующие ОП и ММП в связи с прибрежно-морским осадконакоплением (2.1), агградирующие ОП и ММП в связи с аллювиально-морским осадконакоплением (2.2), агградирующие ММП «нагонных заливов». Среди стабильных ММП и ОП выделяется подтипы скальных и полускальных пород (3.1), а также рыхлых четвертичных отложений (3.2). Распространение указанных типов и подтипов ММП и ОП приведено на рисунках 1 и 2.

Деградирующие ММП.

Подтип 1.1. Сравнение разновременных аэро- и космических снимков на район исследований показывает, что в 1951–2000 гг. под действием термоабразии и термоденудации было размывто 37,5 км² площади о. Бол. Ляховский и 19,0 км² материкового побережья. Скорости отступления составляли в среднем для всех отступающих берегов этого региона 3,2 м/год за период до 2000 г. и 6,4 м/год за последние полтора десятилетия [Пижанкова, Добрынина, 2010; Пижанкова, 2016]. В результате отступления берегов субаэральные толщи мёрзлых льдистых отложений переходят в субмаринные, что даёт начало их деградации сверху и снизу мёрзлой толщи. Деградация сверху происходит под действием термических и гидродинамических процессов. Этим процессам способствует летний прогрев придонных вод до 10–12 °С [Жигарев, 1981], а также сезонное протаивание и засоление донных пород, особенно интенсивное в интервале глубин моря 0–2 м. Летний прогрев придонных вод обуславливает формирование положительных среднесезонных температур дна и многолетнее протаивание мёрзлых донных отложений в интервале глубин моря 2–7 м [Жигарев, 1981; М.Н. Григорьев, 2008]. Оттаявшие породы частично выносятся волнением за пределы ПБС. Основная же часть (от 2/3 до 1/2 от их содержания на клифе) остается на месте [Арэ, 2012]. В результате указанных процессов, как показывает бурение [М.Н. Григорьев, 2008], на глубинах моря 0–7 м в течение нескольких лет – первых десятков лет деградируют первые метры мёрзлых толщ. А за 1–2,5 тыс. лет мощность деградировавших пород сверху увеличивается до 30–45 м.

Деградация снизу начинается, когда температурный профиль толщ ММП, ушедших под море при отступании берегов, приходит в соответствие с температурой придонной воды. Для мёрзлых толщ мощностью 500–700 м, по данным математического моделирования, такое время составляет 1500–2000 лет при геотермическом потоке 50 мВт/м² [Романовский и др., 2006]. Деградация выражается в сокращении мощности ММП снизу и трансформации твердомёрзлых (т. е. цементированных льдом) пород в пластично-мёрзлые. В последних сохраняются как лёд, так и незамёрзшая вода.

Таким образом, **подтип 1.1** характеризуется сокращением площади субаэральных ММП за счёт отступления берегов и деградацией образующихся при этом субмаринных ММП. Деградация происходит как со стороны кровли, так и со стороны подошвы мёрзлой толщи. Береговая зона постоянно перемещается, постепенно увеличивая площади субмаринных ММП и ОП.

В **подтип 1.2** объединяются дельтовые ММП, деградирующие в связи с их расположением в отрицательных морфоструктурах. В условиях современного подъёма уровня моря приморские участки дельт характеризуются затоплением морем, если твёрдый сток рек незначителен. В устьях подобных рек в настоящее время образованы глубоко вдающиеся в сушу губы (эстуарии). Таковы Чондонская, Омуляхская, Хромская, Гусиная губы. Затопление морской водой приводит к повышению температуры дельтовых отложений, их засолению и деградации ММП сверху и снизу.

Агградирующие ОП и ММП.

Подтип 2.1 образуют прибрежно-морские осадки на участках положительных вертикальных движений и там, где геометрия береговой линии обуславливает осаждение наносов или их избыточное поступление в береговую зону. Повышающееся по мере аккумуляции охлаждённых осадков дно моря становится объектом сначала их сезонного, а потом и многолетнего промерзания. Последнее происходит, когда поверхность аккумуляции попадает в интервал глубин моря менее 2 м. Промерзание осуществляется через припайный морской лёд. При этом увеличение мощности слоя, переходящего в многолетнемёрзлое состояние, происходит как сверху за счёт осадконакопления, так и снизу за счёт кондуктивного охлаждения через уже промёрзшие осадки. Формирование и синкриогенное промерзание прибрежно-морских осадков тесно связаны с минерализацией поровых растворов, интервалами глубин моря и наличием (или отсутствием) слоя морской воды под морским льдом.

Подводные и надводные прибрежно-морские формы рельефа (осушки, ватты, марши), сложенные современными синкриогенными отложениями, особенно широко распространены в юго-восточной части моря Лаптевых в полосе ветровых нагонов-сгонов (интервал абс. высот $-2,5 \dots +2,5$ м, рисунок 2) [Гаврилов, Тумской, 2002]. Площади осушек измеряются здесь сотнями квадратных километров. Основным источником их питания являются продукты разрушения поздненеоплейстоценового ЛК, подвергающегося термоабразионному и термоденудационному разрушению. Среднегодовые температуры этих синкриогенных образований очень низкие: $-10 \dots -11,5$ °С при толщине льда 80 и 20–40 см соответственно [Гаврилов, Тумской, 2002].

О формировании современных прибрежно-морских осадков и их синкриогенезе свидетельствует также образование многочисленных островов к северу и западу от дельты Лены. Это возвышенные фрагменты баров, окаймляющих дельту на протяжении многих десятков километров. Иллюстрацией активности современного прибрежно-морского осадконакопления является образование осенью 2013 г. нового острова на Васильевском мелководье [Гуков, 2014] в пределах положительной морфоструктуры, соответствующей Восточно-Лаптевскому поднятю. В формировании острова определяющую роль играли морские плавающие торосистые льды. Последние, смерзаясь на банках с дном, приобретают неподвижность. На мелководьях прогреваемая придонная вода приводит к глубокому летнему протавиванию донных осадков. Приобретающие подвижность осадки складываются у ледяных образований, как у береговой черты. Образующийся сначала подводный, затем – островной бар, промерзает по описанной выше схеме. Промерзание облегчается тем, что донные осадки на месте залегания морских льдов после их стаивания могут быть незасолёнными.

Подтип 2.2. Агградирующие ММП в связи с аллювиально-морским осадконакоплением широко распространены на побережье арктических морей. Они развиты как в положительных морфоструктурах, так и в отрицательных, если по величине твёрдый сток превышает погружение и поднятие уровня моря. В Восточно-Сибирском секторе такие толщи зафиксированы протяженными (до 22 км) буровыми профилями в авандельтах Яны и Индигирки [Н.Ф. Григорьев, 1966]. Механизм формирования и синкриогенеза аллювиально-морских отложений является аналогичным описанному выше для прибрежно-морского осадконакопления. Многолетнее промерзание по мере наращивания поверхности авандельты и дельты нашло отражение в результатах термометрии в устье Индигирки, проведённой в 1962 г. Так, если на морском окончании авандельты и близ него температура пород составляла $+1$; $-0,2$ и

-1,2 °С (изобаты 2; 1,5 и 0,8 м соответственно), то на границе авандельты и дельты, осушаемой во время сгонов, – -11,6 °С.

Подтип 2.3 связан с районами ветровых нагонов и сгонов, широко распространенных в пределах арктических морей и побережий. В открывающихся к морю заливах и суженных долинах рек при прохождении нагонной волны наблюдается резкое возрастание её высоты. Такими «нагонными заливами» являются Ванькина губа, долины рек Чуркун, Харыстах, Суруктах и др. В верховьях долины р. Харыстах имеется волноприбойная галечно-щебнистая коса. Её высота, маркирующая высоту нагонов, составляет 7–8 м [Гаврилов, Тумской, 2002]. Долины таких рек сложены современными агградирующими аллювиально-морскими отложениями, вмещают массу солёных озёрков. Уклоны их днищ весьма незначительны (до 0,00003).

Стабильные ОП и ММП.

Подтип 3.1 представлен скальными и полускальными породами. Льдистость их пренебрежимо мала. Они устойчивы к волнению, приурочены к положительным морфоструктурам. Поэтому на ПБС площади распространения таких пород являются участками размыва, и мощность современных морских отложений в их пределах является минимальной. К **подтипу 3.2** относятся два вида участков береговой зоны. Первый – это участки, где термоабразионное отступление берегов прекратилось в связи с изменением профиля ПБС. Второй образуют части береговой зоны, где ход аккумуляции находится в соответствии с поднятием уровня моря в XX–XXI вв., тектоническими движениями и гидродинамическими процессами.

ВЫВОДЫ

1. Предложена концепция построения карты направленности криогенной динамики береговой зоны. Карты такой тематики ранее не составлялись. В основу построения положена тесная связь мёрзлых толщ и их динамики с остальными компонентами природной среды, определяющими характер процессов в береговой зоне и её динамику.

2. К числу таких компонентов относятся геологическое строение, особенно наличие залежеобразующих подземных льдов и льдистость пород; новейшие тектонические движения; волнение, течения, сгонно-нагонные (приливо-отливные) явления; твёрдый сток рек.

3. На основе оценки перечисленных компонентов природной среды на функционирование береговой зоны построена её типизация для морей Лаптевых и Восточно-Сибирского. Типизация даёт возможность прогнозировать реакцию ММП и ОП на изменения указанных компонентов.

4. Подобная типизация, дистанционная информация и комплекс карт природной среды позволяют составлять обзорные карты направленности динамики мерзлотной обстановки береговой зоны арктических морей.

5. Составлена карта направленности криогенной динамики береговой зоны восточной части моря Лаптевых и западной – Восточно-Сибирского моря. На ней характеризуются типы береговой зоны: участки деградирующих, агградирующих и стабильных ММП и ОП. По характеру их связи с компонентами природной среды, определяющими направленность динамики, типы подразделены на подтипы ММП и ОП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Арэ Ф.Э.* Разрушение берегов арктических приморских низменностей. – Новосибирск: Гео, 2012. – 291 с.
2. *Гаврилов А.В., Тумской В.Е.* Современные процессы криолитогеоза восточного побережья моря Лаптевых // Криосфера Земли. 2002. – Т. VI, № 1. – С. 35–48.
3. Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток / Под ред. Ершова Э.Д. – М.: Недра, 1989. – 515 с.
4. *Григорьев М.Н.* Криоморфогенез и литодинамика прибрежно-шельфовой зоны морей Восточной Сибири. Автореферат ... дисс. докт. геогр. наук. – Якутск, 2008. – 38 с.

5. Григорьев Н.Ф. Многолетнемёрзлые породы Приморской зоны Якутии. – М.: Наука, 1966. – 180 с.
6. Гуков А.Ю. Остров, открытый в XXI веке // География и экология в школе XXI века, 2014. – № 2. С. 14–18.
7. Жигарев Л.А. Закономерности развития криолитозоны арктического бассейна // Криолитозона арктического шельфа. – Якутск: ИМ СО АН СССР, 1981. – С. 4–17.
8. Пижанкова Е.И., Добрынина М.С. Динамика побережья Ляховских островов (результаты дешифрирования аэрокосмических снимков) // Криосфера Земли. – 2010. – Т. XVI, № 4. – С. 66–79.
9. Пижанкова Е.И. Современные изменения климата высоких широт и их влияние на динамику берегов района пролива Дмитрия Лаптева // Криосфера Земли. – 2016. – Т. XX, № 1. – С. 51–64.
10. Романовский Н.Н., Елисеева А.А., Гаврилов А.В. и др. Многолетняя динамика толщ мерзлых пород и зоны стабильности газовых гидратов в рифтовых структурах Арктического шельфа Восточной Сибири (Сообщение 2). Результаты численного моделирования // Криосфера Земли. – 2006. – Т. X, № 1. – С. 29–38.
11. Sekretov S.B. Petroleum potential of Laptev Sea basins: geological, tectonic and geodynamic factors // Polarforschung 69, 1999 (erschienen 2001). – 259 p.

Anatoly V. Gavrillov¹, Elena I. Pizhankova²

**THE CONCEPT OF MAPPING THE CRYOGENIC DYNAMICS TENDENCY
OF THE COASTAL ZONE
(BY THE EXAMPLE OF EAST SIBERIAN ARCTIC SECTOR)**

ABSTRACT

We have proposed a conceptual model of dynamics of frozen and cooled below 0°C rocks of the coastal zone. The map shows the areas of degradation, formation, and a stable state of permafrost. The basis of mapping is the type assignment of the coastal zone based on the transformation factors. This geological structure is characterized by ground ice occurrence, ice-bearing rocks, modern vertical movements, hydrodynamic processes, and solid runoff. Depending on the combination of these factors, in some cases sedimentation, accompanied by syngenetic freezing of rocks occurs in the coastal zone. In other cases, the seashores retreat, and the frozen deposits of the underwater coastal slope thaw. In other cases, the banks retreat, and the permafrost sediments of the underwater coastal slope are thawed. This happens due to intensive salinization at the sea depths of 0-2 m, where sea ice adfreezes with a bottom, as well as due to summer warming of near-bottom water. In the third case, under stable shores, the bottom rocks in the depth interval 0-2 m basal remain frozen and only in the interval from 2 to 3-5 m they are cooled. Alluvial-marine sedimentation in the mouths of rivers depends on a ratio of the volume of solid runoff and vertical tectonic movements. This can lead to formation of new permafrost or to submersion of sediments under the sea level and following thawing.

Mapping of the tendency of the cryogenic dynamics of the coastal zone is based on its typing, the regional permafrost, aerospace and cartographic data. Such a map has been compiled for the eastern part of the Laptev Sea and for the western part of the East Siberian Sea. It shows the types of frozen and cooled rocks—degrading, aggradating, stable—and their subtypes. The basis for

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geology; Russia, 119991, Moscow, Leninskie Gory, 1;
e-mail: gavrillov37@bk.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geology; Russia, 119991, Moscow, Leninskie Gory, 1;
e-mail: eipizhankova@rambler.ru

identifying the rock types has been provided by the factors that determined the dynamics of the state of frozen and cooled rocks. Selected subdivisions have been characterized by a cryogenic structure, the presence of ground ice, bulk ice content, neotectonics and cryogenic processes.

KEYWORDS:

permafrost and chilled rocks, subaerial and submarine permafrost, coastal erosion, coastal-marine and alluvial-marine sedimentation, permafrost degradation and aggradation

REFERENCES

1. Are F.E. Razrushenie beregov arkticheskikh primorskikh nizmennostej [Coastal erosion of the Arctic lowlands], Novosibirsk: Geo, 1912, 291 p. (in Russian).
2. Gavrilov A.V., Tumskoy V.E. Sovremennye processy kriolitogeneza vostochnogo poberezhya morya Laptevykh [Modern cryolithogenesis processes on the eastern coast of the Laptev Sea], Kriosfera Zemli, 2002, T. VI, No 1, pp. 35–48 (in Russian).
3. Geokriologia SSSR. Vostochnaya Sibir i Dalnij Vostok. Pod red. Ershova E.D. [Geocryology of the USSR. Eastern Siberia and the Far East]. Moscow: Nedra, 1989. 515 p. (in Russian).
4. Grigorev M.N. Kriomorfoenez i litodinamica pribrezhno-shelfovoj zony morej Laptevykh i Vostochno-Sibirskogo [Cryomorphogenesis and lithodynamic coastal-shelf zone of the seas of Eastern Siberia]. Avtoreferat ... diss. doct. geogr. n., Yakutsk, 2008, 38 p. (in Russian).
5. Grigorev N.F. Mnogoletnemerzlye porody Primorskoj zony Yakutii [Permafrost of the coastal zone of Yakutia], Moscow: Nauka, 1966, 180 p. (in Russian).
6. Gukov A.Yu. Ostrov, otkrytyj v XXI veke [The Island discovered in the twenty-first century], 2014, No 2, pp. 14–18 (in Russian).
7. Zhigarev L.A. Zakonomernosti razvitiya kriolitozony arkticheskogo bassejna [The patterns of the development of the Arctic basin permafrost zone], Criolitizona arkticheskogo shelfa, 1981, Yakutsk: IM SO AN USSR, pp. 4–17 (in Russian).
8. Pizhankova E. I., Dobrynina M. S. Dinamica poberezhya Lyakhovskikh ostrovov (rezultaty deshifrirovaniya aerokosmicheskikh snimkov) [The dynamics of the Lyakhovsky Islands coastline (results of aerospace image interpretation)], Criosfera Zemli, T. XVI, No. 4, pp. 66–79 (in Russian).
9. Pizhankova E. I. Sovremennye izmeneniya klimata vysokikh shirot i ikh vliyanie na dinamiku beregov rajona Dmitriya Lapteva [Modern climate change at high latitudes and their influence on the coastal dynamics of the Dmitry Laptev Strait area], Criosfera Zemli, 2016, T. XX, No. 1, pp. 51–64 (in Russian).
10. Romanovskiy N.N., Eliseeva A.A., Gavrilov A.V. i dr. Mnogoletnyaya dinamika tolshch merzlykh porod i zony stabilnosti gazovykh gidratov v riftovykh strukturakh Arkticheskogo shelfa Vostochnoj Sibiri (Soobshchenie 2). Rezultaty chislennogo modelirovaniya [The long-term dynamics of the permafrost and gas hydrate stability zone on rifts of the Eastern Siberian Arctic shelf (Report 2). The results of numerical modeling], Criosfera Zemli, 2006, T. X, No. 1, pp. 29–38 (in Russian).
11. Sekretov S.B. Petroleum potential of Laptev Sea basins: geological, tectonic and geodynamic factors // Polarforschung 69, 1999 (erschienen 2001), 259 p.