

Изучение подземных льдов выявило определенные противоречия между фактическим материалом и рядом современных постулатов по четвертичной истории Российской Арктики. Настоящая статья посвящена пересмотру некоторых устоявшихся взглядов.

Фактический материал показывает следующее: Главная черта криолитозоны на Российском Севере – это резкое различие между западным и восточным секторами Арктики. На равнинах западного сектора преобладают пластовые подземные льды (Рис.2А), на равнинах восточного сектора – полигонально-жильные льды (Рис. 2Б).

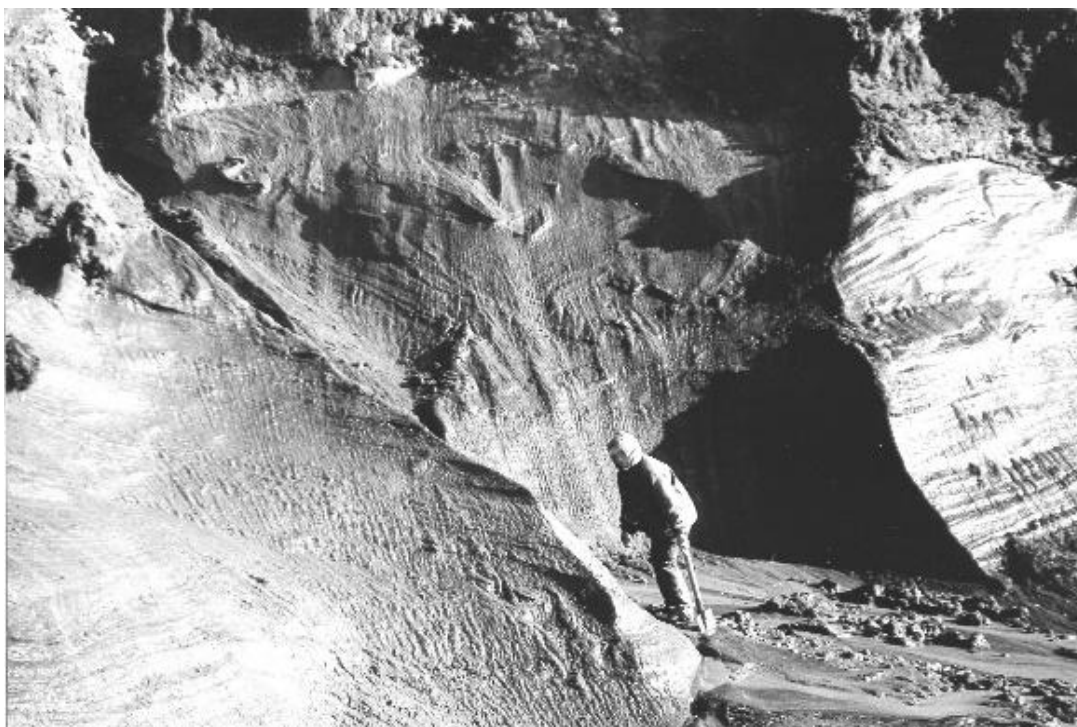


Рис.2. Подземные льды: сверху – пластовые льды, западный Гыдан, внизу – полигонально-жильные льды, р. Яна

Генетически это разные образования, и это указывает на неодинаковое развитие двух частей Арктики.

В **Западном секторе** распространены морские равнины. В морских отложениях развиты пластовые льды, сформировавшиеся в субмаринных условиях. Это – крупные ледяные залежи, представленные дислоцированными ледогрунтовыми образованиями с тонким равномерным сопряженным переслаиванием грунтовых и ледяных слоев (см. Рис. 2А).

В микростроении льда видны тонкие прослой взвешенных минеральных частиц и кристаллы с четкими ненарушенными гранями. Все это – признак формирования в свободной субаквальной среде. Льды развиты в отложениях почти всех эпох плейстоцена, и ледниковых, и межледниковых (кроме поздневалдайской). Возможность промерзания донных засоленных осадков непосредственно в море состоит в следующем. В донных отложениях Арктических морей неоднократно возникают условия, когда температура донных грунтов соответствует температуре замерзания грунтов данной солености. Было выявлено, что в Арктических морях при глубине моря более 50 м устанавливается самая низкая температура донных отложений – $1,6 \div -1,8^{\circ}\text{C}$ [Жигарев, 1997]. Это потому, что холодная тяжелая соленая вода скапливается на глубине, где уже нет летнего прогрева. И такая одинаковая температура дна сохраняется до глубины моря примерно 200, чуть более метров. При большей глубине моря температура дна постепенно повышается под влиянием теплопотока из недр Земли. Соленость донных отложений повсеместно закономерно снижается вниз по разрезу [Шишкина, 1979; Комаров, Луковкин, 2001], что обусловлено процессом термодиффузии в донных осадках. Этот процесс возникает потому, что тепловой поток из недр Земли инжектирует поток грунтовой влаги и солей вслед за ним, снизу вверх, обратно температурному градиенту. Происходит рассоление донных грунтов вниз по разрезу и на некоторой глубине от дна моря температура и соленость отвечают условиям промерзания грунтов. По мере накопления донных осадков слой, где происходит промерзание, передвигается вверх. Так нарастает мерзлая толща на дне моря. Подтверждением служит шельф Баренцева и Карского морей, где сейчас на глубоких участках (более 50 м) идет современное новообразование донной мерзлоты. Это материалы Мурманской экспедиции АМИГЭ [Мельников, Спасивцев, 1995; Бондарев, 2001; Рокос и др., 2009].

У Карских Ворот в Баренцевом море при глубине моря более 70 м скважины вскрыли растущую современную мерзлоту. В составе льда преобладает хлор и натрий, и это показывает, что лед образовался из морской воды. На Русановской площади в Карском море – при глубине моря 114 м. тоже вскрыта растущая мерзлота. Видны субаквальные дислокации на сейсмограммах и в керне. При этом, в статье 2009 года С.И. Рокоса с соавторами, где описаны оба эти объекта, говорится, что на Русановской площади нет газопроявления, и что промерзание осадочной толщи происходило в условиях современного морского бассейна под влиянием отрицательных придонных температур.

По материалам АМИГЭ, вечная мерзлота на шельфе встречена при глубинах моря до 230 метров [Бондарев, 2001]. Это полностью совпадает с областью донного льдообразования по нашей концепции.

Таким образом, весь материал свидетельствует о трансгрессивном режиме и морском осадконакоплении в течение большей части плейстоцена, вне зависимости от климатического характера эпохи.

Реликтовая мерзлота – как свидетель осушения территории в поздневалдайскую эпоху – тоже существует на Западно-Арктическом шельфе, но только на мелководьях, например, на юге Печорского моря [Рокос и др., 2018]. Показательны температуры донных грунтов. У Карских восточных Ворот температура имеет положительный вертикальный градиент, что подтверждает нарастание мерзлоты. А на площади Варандей температурная кривая безградиентна, что указывает на деградацию мерзлоты, подтверждая, что это реликтовая мерзлота.

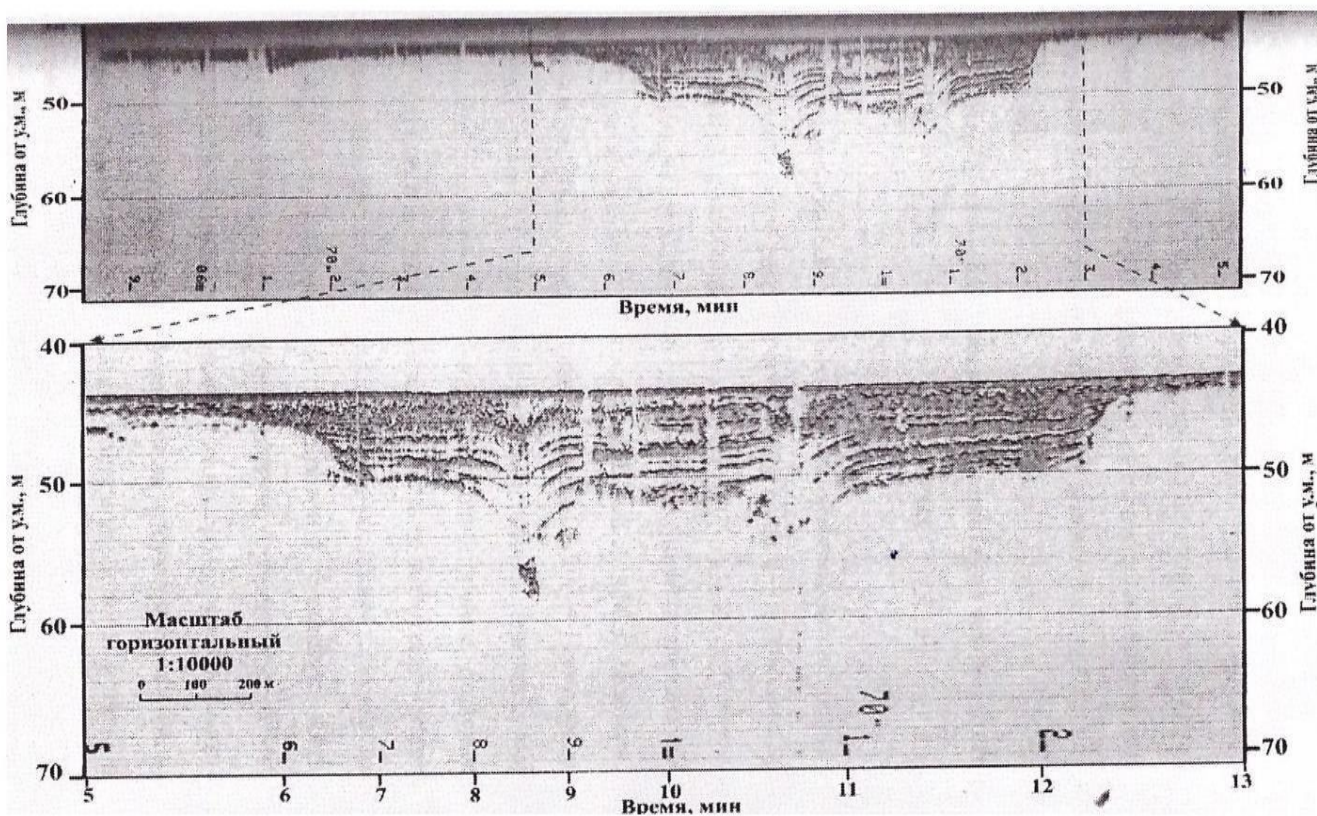
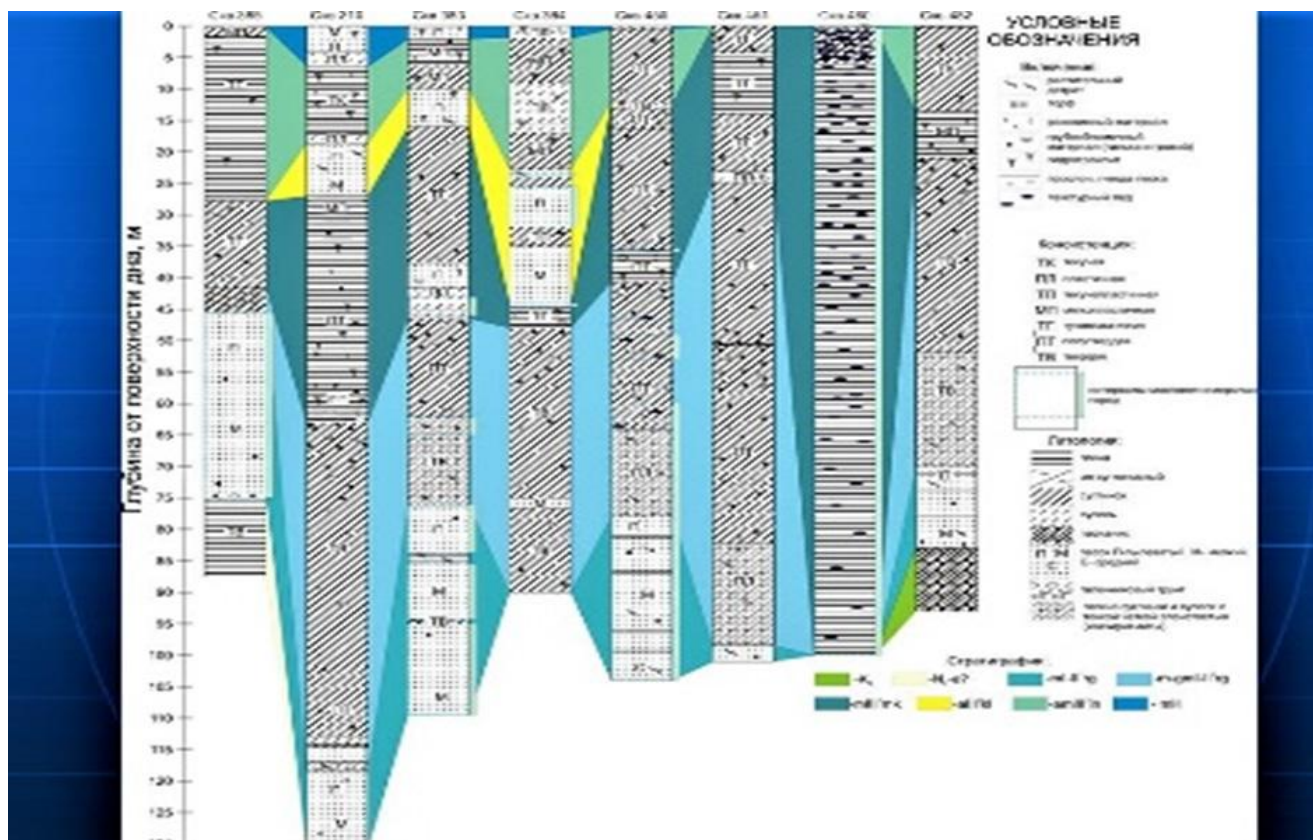


Рис. 3. Вверху - разрезы по скважинам на шельфе южной части Печорского моря [Рокос и др., 2018];
внизу – сейсмоакустический профиль на шельфе моря Лаптевых [Касымская, 2010].

В поздневалдайскую эпоху Западный сектор развивался в континентальном режиме, на что указывает широкое распространение полигонально-жильных льдов (сугубо континентальных образований). Кроме того, как антагонисты ледников они указывают и на

отсутствие в это время покровного оледенения. Это же вытекает и из анализа разрезов донных отложений в Печорском море (Рис. 3А): ни в одном разрезе нет ледниковых отложений. Разрез до 130 м представлен морскими осадками, начиная с раннего плейстоцена, и только в эпохи осушения на мелководье, начиная с зырянского времени, появляются аллювиальные, аллювиально-морские отложения, и в голоцене снова морские.

В **Восточном секторе** распространены озерно-аллювиальные равнины, и развит полигональный рельеф с полигонально-жильными льдами. Льды встречены в отложениях всех эпох плейстоцена, начиная еще с эоплейстоцена. Это значит, что восточный сектор Арктики развивался в континентальном режиме в течение всего плейстоцена и в ледниковые, и в межледниковые эпохи. Соответственно, в регионе в течение плейстоцена не было покровных ледников. Полигонально-жильные льды – антагонисты оледенения. Морозобойное растрескивание грунтов возникает при очень высоких температурных градиентах “грунт–воздух”, возможных только при отсутствии ледника с его теплоизолирующим влиянием.

На Восточно-Арктическом шельфе, мелком, 20 – 40 м, в отличие от Западно-Арктического, криолитозона реликтовая. Здесь прослеживается затопленный ледовый комплекс сартанского возраста [Романовский и др., 1997]. Он прослеживается и на сейсмограммах (Рис. 3Б) [Касымская, 2010]. Затопленный полигональный рельеф показывает, что на осушенном шельфе не было покровного оледенения. На шельфе, у внешней кромки шельфа, при глубине моря более 50 м, Российско-Германскими работами в море Лаптевых был вскрыт лед субмаринного генезиса, по свидетельству самих исследователей, не реликтовый [Kassens et al, 2000]. Это, кстати, подтверждает прямую связь субмаринного льдообразования с глубиной моря.

Сопоставление фактического материала между собой, приводит к новым выводам. Неодинаковое развитие двух секторов Арктики показывает, что не прослеживается принятая ныне синхронность событий «ледниковый период – регрессия моря», «межледниковый период – трансгрессия моря». А это исключает признанную сейчас причину колебания уровня моря – гляциоэвстатику. Наиболее вероятно, что изменения уровня Арктического бассейна контролируются тектоническими процессами в Северном Ледовитом океане. Океан расположен на стыке двух литосферных плит – Евразийской на западе и Американо-Североамериканской на востоке [Лавров и др., 2012]. Это сформировало две разнородные океанические впадины – западную с океанической корой и восточную с преимущественно континентальной корой. В западной впадине расположен срединно-океанический хребет Гаккеля, сформировавшийся в начале плиоцена 9,5 млн лет назад [Карасик, Рождественский, 1977]. При спрединге в хребте из-за поднимающегося астеносферного вещества уменьшался объем прилегающих впадин, и большие объемы воды вытеснялись на континент. В раннем и среднем плейстоцене на Баренцево-Карский шельф, было вытеснено много океанической воды. На Европейском севере России и в Западной Сибири образовался обширный морской бассейн.

Восточная часть Арктического бассейна представлена более устойчивой континентальной корой, а сам район входит в Тихоокеанский пояс сжатия. Это снижает динамичность коры. Спрединг в Хребте Гаккеля с востока прерывается трансформным разломом (Хатанско-Ломоносовским), к востоку от которого затухают движения земной коры. Восточный сектор Российской Арктики развивался в достаточно стабильном режиме.

Размеры последней регрессии Арктического бассейна не могли превышать 50 м, а в ряде мест регрессия вообще отсутствовала. Так, Восточный шельф с глубиной моря 20–40 м осушался весь. При регрессии моря до изобаты 100–120 м, как считается сейчас, должна была бы осушиться часть материкового склона за пределами внешней кромки шельфа. Однако у кромки шельфа встречен изначально субмаринный лед (см. рис. 1), значит, осушения здесь не было. Так что регрессия Восточного шельфа не могла превышать 40–50 м. На Западном шельфе осушение коснулось только отдельных мелководных участков. Это вытекает из разрезов в Печорском море (см. рис.3А): на глубоких (>50м) участках моря разрезы представлены целиком (от поверхности дна) морскими отложениями, содержащими пластовые

льды (скв. 480, 481, 482), значит, осушения не было; на мелководьях (10–30 м глубины) имеется врез континентальных отложений, но не более 45 м (скв. 210, 383, 384).

Выводы. Выводы можно сформулировать как ответы на спорные вопросы геологической истории:

- Покровного оледенения на равнинах Российской Арктики в плейстоцене не было к востоку от полуострова Канин.
- Морской бассейн в Западной Субарктике существовал.
- Регрессия моря не связана с ледниковой эпохой, так же как трансгрессия моря не связана с межледниковой эпохой.
- Изменения положения береговой линии имеют тектоническую природу. Роль гляциоэвстатики практически не прослеживается.
- Регрессия Арктического бассейна в сартанскую эпоху не превышала 50 м, а на больших пространствах западного сектора отсутствовала
- Главная причина, сформировавшая современные природные закономерности региона – это неотектонические процессы в Северном Ледовитом океане.

ЛИТЕРАТУРА

Бондарев В.Н., Локтев А.С., Другач А.Г., Потанкин Ю.В. Методы исследования и определения субаквальной мерзлоты // Седиментологические процессы и эволюция морских экосистем в условиях морского перигляциала. Сб. научн. тр. Книга 1. Апатиты, Кольский научный центр, 2001. С. 15–19.

Жигарев Л.А. Океаническая криолитозона. М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1997. 318 с.

Касымская М.В. Реликтовый термокарстовый рельеф и талики шельфа моря Лаптевых: Автореф. Дис... канд. геол.-мин. наук. М.: МГУ, 2010. 25 с.

Комаров И.А., Луковкин Д.С. Методика количественной оценки влияния процессов солепереноса на ход деградации субаквальных многолетнемерзлых пород шельфа Баренцева моря // Материалы Второй конференции геокриологов России. М.: изд-во Моск. ун-та, 2001, т. 2, с. 154–163.

Карасик А.М., Рождественский С.С. Структура оси разрастания океанического дна и закономерности ее формирования (на примере рифтовой зоны Североатлантического мегабассейна) // Основные проблемы рифтогенеза. Новосибирск: Наука, 1977. с. 167 – 175

Лаверов Н.П., Лобковский Л.И., Кононов М.В., Добрецов Н.Л., Верниковский В.А., Соколов С.Л., Шипилов Э.В. Базовая модель тектонического развития Арктики для установления внешней границы континентального шельфа // Арктика: экология и экономика. 2012. № 2 (6). С. 4–19.

Мельников В.П., Спесивцев В.И. Инженерно-геологические и геокриологические условия шельфа Баренцева и Карского морей. Новосибирск: Наука, 1995. 195 с.

Рокос С.И. Инженерно-геологические особенности приповерхностных зон аномально высокого пластового давления на шельфе Печорского и южной части Карского морей // Инженерная геология. 2008. № 4. С. 22-28.

Рокос С.И., Другач А.Г., Костин Д.А., Куликов С.Н., Локтев А.С. Многолетнемерзлые породы шельфа Печорского и Карского морей: генезис, состав, условия распространения и залегания // Инженерные изыскания. 2009. № 10. С. 38-41

Рокос С.И., Костин Д.А., Куликов С.Н. Стратиграфическое расчленение толщи новейших отложений шельфа Печорского моря по материалам инженерно-геологического бурения // Мат-лы VI Международной конференции “Новое в геологии и геофизике Арктики, Антарктики и Мирового океана” в СПб 25–29 апреля 2018 г.

Романовский Н.Н., Гаврилов А.В., Холодов А.Л., Хуббертен Х-В., Кассенс Х. Реконструкция палеогеографических условий шельфа моря Лаптевых для позднеплейстоцен-голоценового гляциоэвстатического цикла. // Криосфера Земли. 1997. Т. I. № 2. С. 42–49.

Шишкина О.В. Иловые воды // Химия океана: Т. 2. Геохимия донных осадков. М.: Наука, 1979. С. 252–290.

Шполянская Н.А. Плейстоцен-голоценовая история развития криолитозоны Российской Арктики “глазами” подземных льдов. М.–Ижевск: институт компьютерных исследований, 2015. 344 с.

Kassens H., Bauch H., Drachev S., Gierlich A., Niessen F., Taldenkova E., Ruodoi A., Thiede J., Wessels M. The Transdrift VIII Expedition to the Laptev Sea: The Shelf Drilling Campaign of “Laptev Sea System 2000 // Terra Nostra. 2000. No. 8. P. 39–40.

DISPUTED ISSUES OF THE RUSSIAN ARCTIC QUATERNARY HISTORY IN MATERIALS ON CRYOLITHOZONE

Shpolyanskaya N.A.

Ukhta State Technical University, Ukhta, Komi, Russia. nellashpol@yandex.ru

The permafrost zone in the Russian north and the underground ice retain the features of the epochs of their formation. Therefore, the permafrost zone contains information about the natural conditions of the Quaternary period. An analysis of its regularities provides answers to controversial questions: there was no ice sheet on the plains of the Russian north; there is no correspondence between the events "glacial period - sea regression", "interglacial period - sea transgression", and therefore glacioeustatics is not the cause of changes in the level of the Arctic Ocean; in the western sector there was a sea basin formed under the influence of tectonic processes in the Arctic Ocean; Late Valdai regression of the Arctic basin did not exceed 50 m, and it was absent in most of the western sector.

Keywords: Arctic shelf, cryolithozone, neotectonic, Pleistocene-Holocene, underground ice