Отчет

Проект "Криолитозона и Арктический шельф в условиях меняющегося климата: стабильность экосистем и газовые гидраты; пути захоронения органического вещества". **Программа Президиума 23П5** «Фундаментальные проблемы океанологии: физика, геология, биология, экология». Содержание работы раскрыто в дополнениях к Плану научно-исследовательских работ ФГБУН Института криосферы Земли Сибирского отеделения РАН на 2014 г. (Раздел VIII. "Науки о Земле", подраздел 75 "Мировой океан – физические, химические и биологические процессы, геология, геодинамика и минеральные ресурсы океанской литосферы и континентальных окраин; роль океана в формировании климата Земли" Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы) (д.г-м.н. А.А. Васильев)

1. Научный результат

1.1. Цель исследований 2014 г. Заключалась в выявлении основных этапов формирования и эволюции криолитозоны шельфа и континентального обрамления западного сектора Российской Арктики и разработке подходов и оценке возможностей реконструкции палеогеографических условий позднего плейстоцена – голоцена на шельфе и континентальном обрамлении на основе анализа изотопного состава полигонально-жильных льдов.

Для достижения поставленной цели были решены следующие научные задачи:

- установлены основные этапы и условия трансформации криолитозоны Западного сектора Российской Арктики;
- разработаны подходы и оценены возможности реконструкции палеогеографических условий на шельфе в позднем плейстоцене- голоцене;

1.2. Аннотация отчета

Изучены опорные криолитологические разрезы мерзлых отложений позднего плейстоцена-голоцена на побережье и на шельфе Карского моря и установлены основные этапы формирования и эволюции криолитозоны шельфа в Карском море. Выполнен сбор и анализ данных по химическому, изотопному и газовому

составу подземных льдов и вмещающих отложений на Арктическом побережье, составлена электронная база данных. Получены первые данные о содержании и изотопном составе метана в подземных льдах и вмещающих отложениях. Установлено радикальное отличие в содержании и изотопном составе метана в подземных льдах и мерзлых отложениях морского генезиса от атмосферных льдов. Подтвержден не атмосферный генезис пластовых льдов Ямала.

1.3. Развернутый отчет

Основным содержанием исследований по проекту в 2014 г. было исследование опорных криолитологических разрезов, разработка подходов и реконструкция палеогеографических условий позднего плейстоцена–голоцена на шельфе и континентальном обрамлении в западном секторе Российской Арктики.

Опорные криолитологические разрезы в 2014г изучены на западном побережье Таймыра в районе мыса Сопочная Карга, где осенью 2013г были найдены останки мамонта. К северу от п/с Сопочная Карга (в береговом обрыве Енисейского залива высотой 15-20 м (уровень второй надпойменной террасы р. Енисей) разрез четвертичных отложений представлен несколькими горизонтами континентальных и морских осадков (Стрелецкая и др., 2006; 2007; 2013; Streletskaya et al., 2013). Определен радиоуглеродный возраст отложений (Стрелецкая и др., 2009; Гусев и др., 2011), исследовано криогенное строение толщ, химический и изотопный состав подземных льдов (Стрелецкая, Васильев, 2009: Streletskaya et al., 2013) (рис. 1).

Геологическое строение верхней части разреза, характер слоистости, состав и залегание органического материала в песках, вмещающих тушу мамонта, предполагает одновременное накопление и промерзание осадка (сингенез) в условиях периодически обводненных ландшафтов.

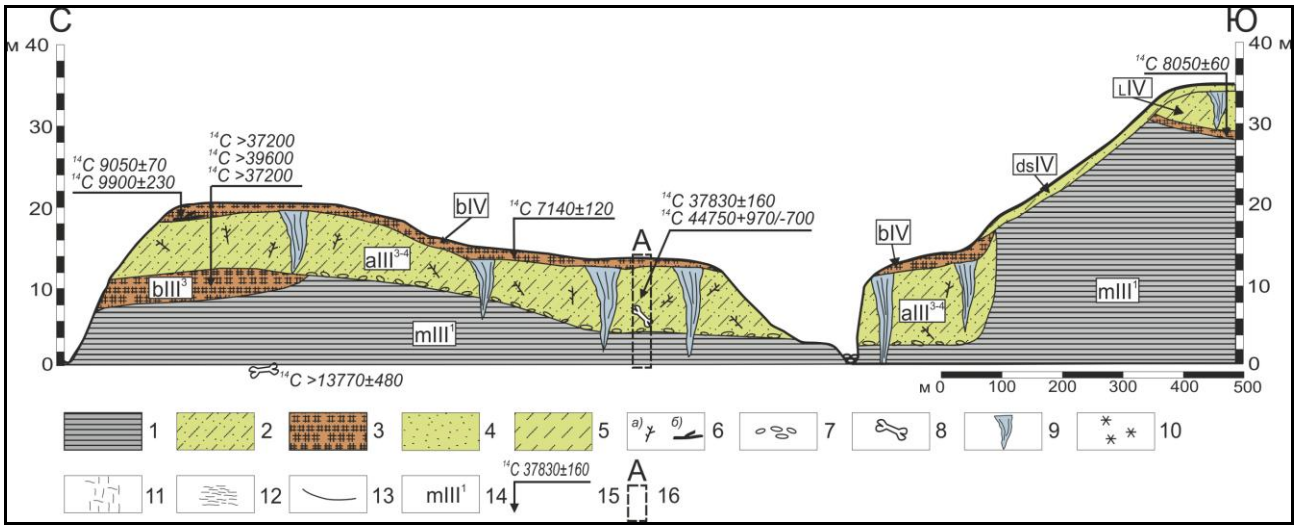

Рис.1. Разрез позднее плейстоценовых - голоценовых отложений в районе Сопочная Карга. А – участок находки мамонта.

Это же подтверждается неизменно высокой льдистостью отложений по разрезу и наличием сингенетических ПЖЛ.

Формирование песков и супесей происходило в условиях позднеплейстоценовой регрессии моря, когда русло р. Енисей выдвигалось к северу более чем на 300 км [*Stein et al., 2002*]. Нижняя часть жил, проникающих в глинистую толщу, формировалась эпигенетически сразу же после выхода поверхности из-под уровня моря, а верхняя – сингенетически в условиях пойменного режима. Накопление песков и супесей завершилось около 10 тыс. лет назад.

Слоистые супеси и пески представляет собой оторфованные синкриогенные аллювиально-озерные отложения широкой поймы, периодически заливаемой паводковыми водами.

О суровых условиях времени формирования континентальных отложений свидетельствуют закономерное увеличение примеси пыли снизу вверх по разрезам и рост крупных сингенетических ПЖЛ. Близ контакта с ледяными

жилами отмечается существенное увеличение льдистости. Высокие темпы седиментации, обводненные ландшафты поймы и быстрое промерзание стали причиной большой льдистости русловых фаций. Залегающие над песками оторфованные супеси относятся к синкриогенным отложениям пойменной фации аллювия. На это указывают, в частности, их характерное криогенное строение, наличие в разрезе нитевидных корешков.

Этапы природных процессов, отразившиеся в особенностях строения четвертичных отложений на обширных пространствах Арктики следующие: регрессия моря в начале каргинского времени (МИС3) приводит к смене морского осадконакопления на континентальное. На осушках и островах накапливается торф. Понижение уровня моря сопровождается глобальным похолоданием климата, аридизацией, промерзанием морских и отложений, ростом ПЖЛ. На мелководье промерзают водонасыщенные осадки, растут площади и бугры пучения. Среднезимние температуры воздуха в конце неоплейстоцена (МИС 2) были ниже современных на 5-7º в Западной Сибири и 6-8º градусов на Таймыре. В голоцене (МИС1) трансгрессия моря и потепление климата приводят к деградации мерзлых пород на шельфе, термокарсту, образованию торфа и частичному оттаиванию ПЖЛ на континенте.

Другим принципиальным криолитологическим разрезом является разрез на Западном Ямале в районе Марре-Сале. Общий вид разреза показан на рис.2

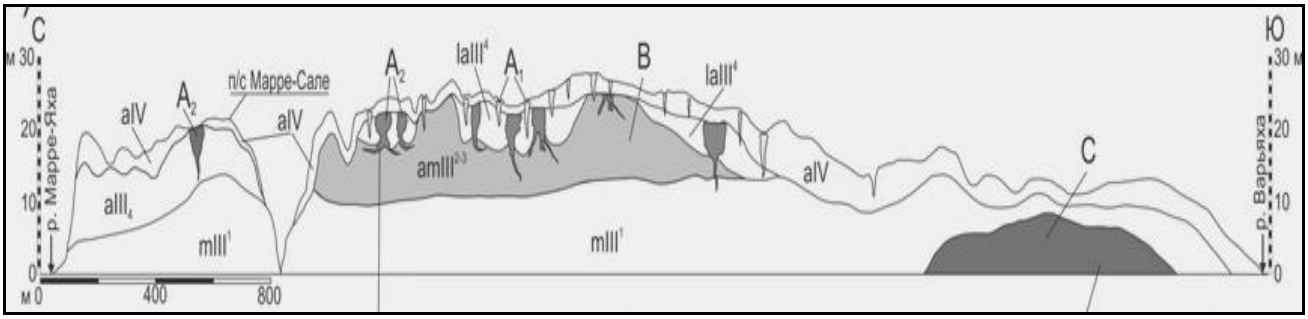

Рис.2. Общий вид разреза поздне плейстоценовых – голоценовых отложений в Марре-Сале, В и С – массивы пластовых льдов.

Криолитологическое строение разреза хорошо изучено и многократно обсуждалось в литературе. В 2014 г основное внимание было уделено изучению метана в мерзлых отложениях морского и континентального генезиса и в подземных льдах. Всего было отобрано около 60 образцов мерзлых пород и подземных льдов, из которых методом headspace извлекался метан, который в дальнейшем исследовался в лаборатории.

Установлено, что содержание метана в полигонально-жильных льдах - как правило, 2-30 ppm, редко в присутствии видимых органических включений достигает 300 ppm. В пластовых льдах содержание метана в 10 – 100 раз выше. Примерно такое же содержание метана во вмещающих морских отложениях. Изучение изотопного состава метана выявило его радикальные отличия во вмещающих отложениях и подземных льдах (рис. 3).

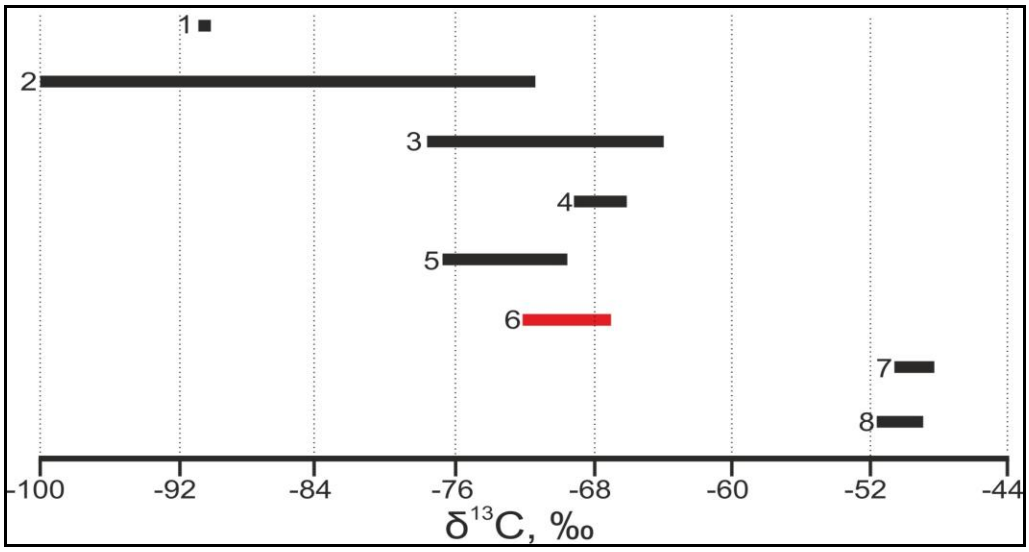

Рис. 3. Изотопный состав метана $\delta^{13}C$,‰: 1- современная почва, подошва сезонно-талого слоя; 2 –аллаиховская свита (средний плейстоцен); 3 – среднеплейстоценовый ледовый комплекс; 4 – аласные отложения; 5 – среднеплейстоценовые морские отложения; 6 – пластовый лед **В** и **С**; 7 – природный метан из месторождений (сеноман); 8 – атмосферный метан.

Помимо морских отложений и подземных льдов на рисунок нанесены данные по изотопии метана в северной Якутии по (Ривкина и др., 2006).

Полученные данные позволяют уверенно утверждать, что метан в морских мерзлых отложениях и подземных льдах имеет не атмосферное происхождение, а является результатом бактериального метанопродуцирования. Биогенный метан формируется за счет комплекса биохимических реакций, осуществляемых метанобразующими микроорганизмами (метаногенами), являющимися анаэробами. Анаэробные процессы идут в современных тундровых почвах, болотах и донных осадках озер и морей.

На основании полученных данных сделан вывод о не атмосферном происхождении пластовых льдов, что однозначно подтверждает их внутри грунтовое, не ледниковое, происхождение. Поэтому нахождение в мерзлых разрезах пластовых льдов не может служить доказательством присутствия ледников на исследуемой территории.

Выполнено предварительное обобщение содержания метана в природных льдах: в атмосфере – 1,8 ppm, в ледниковом льду (Антарктида) -0,4÷0,8 ppm, в полигонально-жильных льдах – 2-30 (редко до 300) ppm, в пластовых льдах - 500÷ 15 000 ppm, в многолетнемерзлых породах – до 20 000 ppm.

Исследование состава и свойств шельфовой мерзлоты было выполнено по данным донного опробования ВНИИокеангеология на Университетском поднятии (около 73,33 N, 69,59E). Здесь многолетнемерзлых породы вскрыты уже с глубины 0,42 м. (рис. 4). Отложения представлены, вероятно, позднеплейстоценовыми глинами, средней плотности с мелкой неполно сетчатой криогенной текстурой. Толщина шлиров льда составляет 1-2мм, расстояние между шлирами -2-3см. Мерзлота явно относится к реликтовой. Объяснить ее залегание вблизи поверхности морского дна пока затруднительно. Возможно, в качестве одной из версий может служить предположение о примерно равных

скоростях протаивания мерзлоты сверху и скорости денудации поверхности поднятия.

Рис. 4. Колонка мерзлых пород с 0,42 до 1,71м, поднятая на Университетском поднятии летом 2013г.

По данным ExxonMobil (устное сообщение Патрика Ли) мерзлота имеет островной характер с размером мерзлых островов от сотен метров до 1-2 км.

Эти данные включены в базу данных проявления субаквальных многолетнемерзлых пород (СММП) в Карском море. С учетом ранее полученных обширных геофизических данных завершено составление карты распространения и условий залегания СММП в Карском море.

1.4. Выводы

Исследованы опорные криолитологические разрезы на побережье Карского моря, выполнено их комплексное опробование, включая изучение изотопного состава подземных льдов и содержание и изотопный состав метана в подземных

льдах и многолетнемерзлых отложениях. **Впервые охарактеризовано содержание метана в подземных льдах и многолетнемерзлых породах.**

Впервые на основании изучения метана установлено не атмосферное происхождение пластовых льдов, что однозначно подтверждает их внутри грунтовое, не ледниковое, происхождение. Поэтому нахождение в мерзлых разрезах пластовых льдов не может служить доказательством присутствия ледников на исследуемой территории.

Впервые показано радикальное отличие изотопного состава метана в подземных льдах и многолетнемерзлых породах от льдов атмосферного происхождения.

Установлено присутствие и выявлены условия залегания СММП в новом районе – Университетском поднятии. Завершено составление ГИС – ориентированной карты распространения и условий залегания СММП в Карском море.

2. Значимость полученных результатов

Полученные в рамках проекта результаты по сути развивают новый комплексный подход к исследованию криолитозоны шельфа и континентального обрамления в западном секторе Российской Арктики с использование методов изотопии и биогеохимических методов исследования подземных льдов и мерзлых пород. Это открывает новые возможности в интерпретации генезиса ледяных образований в криолитозоне и условий их формирования. Исследования носят пионерный характер и определяют состояние мировой науки в данном направлении, расширяют их, предлагая новые подходы.

Наиболее значимый результат

Впервые проведено изучение содержания и изотопного состава метана в подземных льдах и многолетнемерзлых породах, доказана эффективность этих исследований в интерпретации условий формирования и эволюции субаквальной и континентальной криолитозоны.

3. Публикации

И.Д. Стрелецкая, А.А. Васильев, В.П. Мельников, Г.Е. Облогов. Оценка атмосферной палеоциркуляции по изотопному составу полигонально-жильных льдов// Доклады Академии Наук, 2014, том 457, № 5, с. 608–611.

D. Streletskiy, O. Anisimov and A.Vasiliev. Permafrost Degradation. In: Snow and Ice-Related Hazards, Risks and Disasters. NY, Elsevier, 2014, pp http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-394849-6.00010-X. Страниц пока не знаю, выйдет в конце года.

4. Конференции

4th European Conference on Permafrost, 18-21 June 2014 | Évora, Portugal.
Устный доклад: A. Vasiliev, G. Oblogov, P. Rekant. Submarine permafrost map, Kara Sea.
XII-ая Международная научная конференция «Комплексные исследования природы Щпицбергена и прилегающего шельфа», (6-8 ноября 2014 г., г. Мурманск.
Устный доклад: Стрелецкая И.Д., Васильев А.А., Облогов Г.Е., Токарев И.В. Мерзлые породы и подземные льды – архив данных для реконструкции глобальных изменений природы Западной Арктики.

VIII Международная конференция «Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей». Москва, РУДН, 24-27 ноября 2014 г.
Стендовый доклад: Стрелецкая И.Д., Васильев А.А. Подземные льды и их роль в береговых процессах Западной Арктики.