

на сушу. Именно поэтому там так неглубоко. И когда мы изучаем дно, то находим не океанические, а континентальные осадки. Это территория, где раньше могли жить люди, обитать древние организмы, поэтому находки, имеющие археологическую и палеонтологическую ценность, вполне возможны.

ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ ПЛАНЕТЫ КАК РЕЗУЛЬТАТ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В АРКТИКЕ

И.П. Семилетов, профессор

***Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, г. Владивосток, Россия,
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск, Россия***



Профессор И.П. Семилетов

КРАТКАЯ СПРАВКА

Семилетов Игорь Петрович – доктор географических наук, профессор, член-корреспондент РАН; научный руководитель Международной научно-образовательной лаборатории по изучению углерода арктических морей; старший научный сотрудник Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН (г. Владивосток); известный исследователь Арктики научные интересы – глобальное потепление планеты как результат экологических изменений в Арктике, исследования арктического сибирского шельфа как источника парниковых газов планетарной значимости. На свои научные исследования получил мегагрант Правительства РФ.

В 2015 г. году ученые в рамках проекта Правительства РФ по изучению сибирского арктического шельфа выполнили три экспедиции в Арктику, чтобы оценить, насколько серьезным может быть влияние деградации подводной мерзлоты на климат и экологическую ситуацию на планете. Самая масштабная из них была в Северном Ледовитом океане. Она получила название SWERUS-C3. На единственном в мире научном ледоколе «Оден» в 100-дневной экспедиции участвовали около 80 ученых из разных стран.

Известно, что пул (резервуар) органического углерода (ОУ), захороненного в вечной мерзлоте суши, является сопоставимым с оценками пула ОУ почв на нашей планете. Поэтому процесс вовлечения ОУ деградирующей мерзлоты суши с его последующей трансформацией в форму парниковых газов — CO₂ и CH₄ — считается одним из важных факторов, влияющих на состояние климата. В то же время в мировом сообществе принято считать, что гигантский резервуар ОУ на Сибирском арктическом шельфе «заблокирован» подводной мерзлотой. В рамках нашего проекта мы показываем, что это не так: мегапул ОУ сибирского шельфа уже вовлечен в современный круговорот углерода.

Массированные выбросы метана (до сотен граммов с кв. метра в сутки) из шельфа Восточной Арктики были впервые обнаружены нашей группой. Эти работы были проведены в 2005–2013 годах и продолжаются в рамках мегапроекта ТПУ в содружестве с Тихоокеанским океанологическим институтом им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН и другими партнерами. Результаты свидетельствуют о высокой степени деградации («дырявости») подводной арктической мерзлоты. Учитывая, что запасы ОУ в многокилометровой толще сибирского шельфа как минимум на 5 порядков превышают запасы ОУ, доступные для вовлечения в современный биогео-химический цикл из верхнего слоя наземной мерзлоты, становится очевидным, что вовлечения древнего ОУ из сибирского шельфа, уже трансформированного в форму CH₄ и CO₂, в современный цикл может

оказать воздействие на климат несоизмеримо сильнее по сравнению с фактором наземной мерзлоты.

Известно также (на основе изучения палеосостава атмосферы — по результатам изучения образцов ледяных кернов из Антарктиды и Гренландии), что планетарный максимум атмосферного содержания CH_4 и CO_2 существует в Арктике в теплые геологические периоды и отсутствует — в холодные. Наша работа состоит в том, чтобы доказать гипотезу о ведущей роли Сибирского арктического шельфа в этих изменениях. Естественно, наши исследования встречают гигантское противодействие наземного сообщества мерзловедов во всем мире. Другими словами, в поисках истины мы все оказались под одной крышей мегагранта Правительства РФ в ТПУ. В наш научный коллектив в настоящее время входят около 15 университетов из России (МГУ), Швеции (Стокгольмский и Гетеборгский университеты), Голландии (Университет Утрехт), Англии (Университеты Кембриджа и Манчестера) и т. д. Важно то, что передовые мерзловеды из МГУ и Института мерзлотоведения СО РАН (Якутск) уже вошли в нашу команду — мы вместе проводим натурные исследования на шельфе морей Восточной Арктики и находим все больше и больше фактических подтверждений правоты нашей гипотезы о ведущей роли сибирского шельфа в изменении планетарного баланса метана в настоящее время и, по-видимому, на протяжении по крайней мере последних четырех климатических циклов (один климатический цикл примерно равен 105 тыс. лет).



Работа экспедиции по изучению арктического шельфа под руководством И.П. Семилетова

проводим с 2011 года, у нас уже пробурено 16 скважин, включая скважину этого года. Предварительные результаты крайне интересны. Так, например, мы обнаружили, что состояние мерзлоты Ивашкинской лагуны, которую мы исследовали, совершенно не соответствует классическим представлениям. Не вдаваясь в детали, поясню, что мы обнаружили такой «слоеный пирог» из талых и мерзлых пород и микроканьон, абсолютно непонятного пока генезиса, который залегает на глубинах моря порядка двух-трех метров. Хотя, исходя из климатического подхода, его там быть не должно, ведь там лед практически смерзается с осадком. Осенью мы обнаружили мощные выбросы метана из этого микроканьона, которых не оказалось зимой. Первые результаты комплексных изотопных анализов, которые мы сделали совместно с Утрехтским университетом

Предварительные результаты, полученные за время наших экспедиций следующие.

Цель первой экспедиции в море Лаптевых была в проведении буровых исследований с припайного льда для отбора глубоких (насколько это возможно) донных отложений. Это нужно для изучения закономерностей распределения подводной мерзлоты в прибрежной зоне моря Лаптевых и понимания механизмов геологического контроля выброса метана, что является одним из основных направлений нашего исследования. Буровые работы мы

(Нидерланды), весьма любопытны. Согласно им, мы можем предполагать движение глубинного флюида с разгрузкой в Ивашкинской лагуне. Трудно было предположить, что там есть сквозной талик — протаявшая мерзлота. Но именно эти предварительные результаты согласуются с предварительными анализами проб, выполненных группой профессора кафедры геологии и разведки полезных ископаемых ТПУ Гончарова, который видит проявление просачивания легких нефтей. О чем это говорит? О просачивании глубинного флюида: и жидкости, и газа, хотя ранее предполагалось наличие в этом месте толщи стабильной мерзлоты. Отмечу, что мы говорим о предварительных результатах, которые требуют более детального изучения, что мы и планируем провести в 2016–2017 годах: вопросов пока намного больше, чем ответов.

Летом 2014 года мы выполнили уникальную экспедицию SWERUS-C3 в Северном Ледовитом океане вместе с нашими шведскими коллегами и исследователями из пяти стран. На единственном в мире научном ледоколе «Оден». Как известно, самые мощные ледоколы принадлежат России, но они, к сожалению, не оборудованы современной научной техникой. «Оден» же оснащен всем необходимым оборудованием для наших исследований.

Присутствие на борту ведущих ученых из разных стран — специалистов по геологическим и геохимическим направлениям — позволило провести уникальные исследования и впервые детально изучить акваторию внешнего шельфа Восточной Арктики на глубинах моря ниже 50 метров. Отметим, что наши основные исследования, предшествующие «Одену», были в основном получены на глубинах до 50–70 м.

Нами открыт массивный выброс метана, статью о котором мы опубликовали в 2010 году в журнале Science, что сыграло ключевую роль в пересмотре представления о подводной мерзлоте на шельфе морей Восточной Арктики (МВА). По нашим результатам, эмиссия, или выделение, метана из осадков МВА примерно в два раза превышает известные оценки выделения метана из всех морей Мирового океана (Nature geoscience). Результаты последних исследований показывают, что эти потоки гораздо более значимые, чем мы отмечали ранее. Эта проблема очень серьезная.

Мы отправились на 100 суток в экспедицию на тяжелом ледоколе высотой 45 метров, который ломает лед толщиной в два метра. Экспедиция прошла по нашим полигонам, открытым нами в предыдущих экспедициях, подтвердила наличие так называемых мегавыбросов метана и нашла новые. Более того, мы обнаружили, что сечение этих мегавыбросов, или мегафакелов, возрастает. Точные цифры — это предмет наших научных исследований. Но могу сказать, мегавыбросы значительно увеличиваются, что вызывает у нас тревогу: потенциально выброс 3–5 % от предполагаемого пула газовых гидратов может привести к многократному увеличению содержания метана в атмосфере. Это может вызвать значительные климатические изменения.

Причина этого явления - непростой вопрос. Дело в том, что основной фактор, ответственный за деградацию подводной мерзлоты, — это время контакта придонной относительно теплой воды с поверхностными осадками. Когда мерзлота приходит в термическое равновесие с природной водой, происходит фазовый переход... Когда мерзлота есть — гидраты стабильны, когда ее нет, гидраты дестабилизируются. Мы сейчас живем в межледниковый период. В ледниковой эпохе уровень Мирового океана на 100–120 метров ниже, чем в межледниковый. И то, что сейчас является шельфом МВА, прежде было сушей. Десятки тысяч лет

холодного геологического периода приводили к формированию мощной мерзлой толщи — это по разным оценкам 500–800 метров. После наступления теплого периода уровень океана растет, идет затопление этой суши до современного уровня. Если смотреть по сравнению с предыдущими климатическими циклами, то у нас сейчас (начиная с 5–6 тыс. лет назад) должно быть похолодание и понижение уровня океана. А этого не происходит. Почему? Мы ассоциируем этот феномен с появлением второго «теплого горба» после Голоцена, который ассоциируется с антропогенным потеплением. И вместо понижения Мирового океана, которое должно было наступить примерно 5–6 тыс. лет назад (со времени температурного оптимума Голоцена), его уровень продолжает медленно расти. Это значит, что контакт теплых вод и подводной мерзлоты продолжается. С большой вероятностью мерзлота пришла в термическое равновесие с водой, что неизбежно приводит к образованию сквозных таликов. Получается, что температура мерзлоты, сформированной в ледниковый период, была минус 17–20 градусов Цельсия — это известно из опубликованных работ, а среднегодовая температура придонной воды, которая затопила ее, примерно минус один градус Цельсия. Около устьев рек она вообще близка к нулю. Получается, что на глубинах 60–100 м (где обнаружены мегавыбросы метана) подводная мерзлота находится в контакте с придонной теплой водой примерно на протяжении 9–10 тыс. лет. Этого достаточно для того, чтобы она протаяла. Согласно данным нашего бурения, мерзлота уже находится в транзите. Всего за время нашей последней экспедиции на «Одене» мы обнаружили порядка 500 аномальных полей выбросов метана.

Наши результаты подразумевают в перспективе пересмотр климатической теории. Наши заключения и модели не умозрительные, они основаны на реальных результатах. Мы говорим, что деградация подводной мерзлоты — серьезный фактор, и его надо изучать. Ведь если весь шельф МВА перейдет в состояние, в котором находятся аномальные районы, которые мы обнаружили, то это может вызвать очень серьезные климатические последствия. Какие же?

В 2013 году в журнале Nature вышла публикация со ссылкой на статью профессора Шаховой в «Докладах Российской Академии наук» и наши четыре сценария развития событий: от мягкого до самого жесткого. Самый жесткий сценарий мы назвали «катастрофический». Согласно ему, примерно 3–5 % предполагаемых запасов гидратов может выброститься в атмосферу в течение 10 лет (таково время жизни метана в атмосфере), и концентрация атмосферного метана увеличится во много раз. Это может вызвать труднопредсказуемые климатические последствия: произойдет потепление более значимое, чем при удвоении двуокиси углерода в атмосфере. Если это случится, то Киотский протокол покажется сценарием в розовом цвете. Но я хочу отметить, мы считаем этот худший сценарий маловероятным.

Говорим лишь о том, что это может произойти лишь при определенных условиях. Так вот, ученые из Роттердама прогнали наш «катастрофический» сценарий через свою экономическую модель. И показали, что на борьбу с последствиями такого развития событий понадобится 70 трлн долларов. Это мировой бюджет всех экономик. И не нужно думать, что кто-то выиграет здесь, а кто-то проиграет. Мало не покажется никому. Климат — это климат, он не имеет национальных границ. Плохо будет всем. Однако публикация этой статьи вызвало жуткое раздражение у большой группы ученых из разных стран, которые начали массированную атаку на нашу международную группу. Наш долг — ответить на эту почти истерическую реакцию фактами, которые мы и добываем вместе. Новые

данные, полученные в последней экспедиции, помогут скорректировать этот сценарий. Но для того, чтобы более точно скорректировать сценарий, требуется объединить усилия всех заинтересованных стран. Ежегодно на исследования необходимы суммы, равные нашей прошлой экспедиции, или хотя бы пара миллионов долларов, чтобы совершать простые экспедиции на российских судах, укомплектованных современным оборудованием. Нужна крупная международная программа. В этом, я надеюсь, поможет Томский политехнический университет.

Именно на базе ТПУ планируется координировать ход этих масштабных международных исследований. У нас уже есть партнеры в 15 университетах мира. Это вузы России, США, Швеции, Нидерландов, Англии и других стран. Лучшие умы уже удалось объединить на базе ТПУ в нашем арктическом проекте. Мы надеемся объединить наши усилия с ведущим арктическим институтом в нашей стране — НИИ Арктики и Антарктики, с которым нас уже связывают многие годы сотрудничества с 1980 до начала 2000-х. Образовательная составляющая — важная часть проекта. У нас уже есть два магистранта, пять аспирантов — это и томские ребята, которые активно включены в проект. В Томске читают лекции зарубежные профессора и научные сотрудники — эксперты мирового класса в своих областях. Заинтересованных студентов мы можем отправлять в зарубежные научные стажировки к нашим партнерам. У нас уже есть двое аспирантов, которые прошли стажировки в Стокгольме, планируем такие стажировки в университетах Голландии и США. Самое важное для российских ученых — интегрироваться в мировое научное сообщество, научиться работать так, как принято в мире. Наша наука очень сильная и креативная, но не всегда удается донести наши результаты до мировых научных сообществ. Надеемся, нам удастся, объединить исследования ученых всего мира для решения этой проблемы.

ЗАГАДКА АРКТИКИ

Орьян Густафссон, профессор

Стокгольмский университет, г. Стокгольм, Швеция



Профессор Орьян Густафссон

изменения климата на таяние арктической вечной мерзлоты на суше и в арктических морях, что приводит к вовлечению в современный биогеохимический цикл гигантских запасов углерода, ранее законсервированного в мерзлоте. В марте 2016 г. научная группа под руководством профессора Густафссона выиграла самый престижный в Европе грант на изучение темы деградации подводной мерзлоты.

КРАТКАЯ СПРАВКА

Орьян Густафссон – профессор Стокгольмского университета, действительный член Шведской Королевской академии наук, действительный член Нобелевского комитета. Его индекс Хирша равен 50; ученый опубликовал более 170 статей, в том числе в таких изданиях, как *Nature*, *Science*. Профессор руководит научной группой, которая изучает влияние углекислого газа и климата на таяние льдов арктической вечной мерзлоты, радиационное воздействие аэрозолей в «азиатском коричневом облаке», распад органических загрязнений в промышленных районах. С 2014 года Густафссон сотрудничает с Томским политехническим университетом. Профессор работает в научных проектах вместе с группой политехников под руководством Игоря Семилетова и Натальи Шаховой. Ученые ведут масштабные исследования по изучению Сибирского арктического шельфа как источника парниковых газов планетарной значимости. В Швеции он руководит научной группой, которая изучает влияние