

РАБОТА ГЛЯЦИОЛОГИЧЕСКОЙ ГРУППЫ НА СТАНЦИИ БЕЛЛИНСГАУЗЕН В СЕЗОН 68-й РАЭ

Основными задачами работ на острове Кинг-Джордж (Ватерлоо) в 2022/23 году было изучение динамики ледникового купола Беллинсгаузен и особенностей таяния вечной мерзлоты на полуострове Файлдс, где расположена российская научная антарктическая станция Беллинсгаузен.

Гляциологическая группа, состоящая из двух сотрудников Института географии РАН, работала главным образом на ледниковом куполе Беллинсгаузен, расположенном в 3,5 км к северо-востоку от станции Беллинсгаузен. Первые работы на куполе проводились в 1968–1971 годах советскими учеными, в дальнейшем здесь в 1992–1995 годах работали китайские исследователи, в 1999–2008 годах работы продолжили ученые из Германии. Российские исследования ледникового купола возобновились в 2007 году и продолжаются до настоящего времени. До конца XX века купол, как считалось, находился в стабильном состоянии, а в дальнейшем его поверхность стала понижаться.

В 2022 году в сезон 68-й РАЭ гляциологическая группа прибыла на станцию Беллинсгаузен из чилийского города Пунта-Аренас на бразильском судне «Максимиано» в ночь на 10 ноября. Начало сезона определялось временем максимального накопления снега, измерение которого позволило определить зимний баланс массы льда на ледниковом куполе. В течение первых 10 дней по прибытии была проведена площадная снегомерная съемка всей территории ледникового купола (площадь около 9 км²), которая включала измерения толщины снега в узлах сетки 250×250 м с фиксацией положения точек при помощи GPS. Всего было выполнено более 200 точек измерений, что позволило построить карту толщины снега на всю территорию ледникового купола. Минимальная толщина снега на куполе составила 74 см, а максимальная — 311 см, при средней — 164 см. Как и в предыдущие годы, максимум снегонакопления был отмечен на юго-восточном склоне купола неподалеку от его вершины. Это говорит о том, что в зимнее время преобладают северо-западные ветры, которые и сметаю выпадающий снег с вершины купола на его юго-восточный склон. Сравнение с подобными картами толщины снега предыдущих лет позволяет отследить изменения распределения снега на куполе и связать их с зимними климатическими параметрами. С учетом измерения плотности снега, выполненного в шурфах на разных высотах купола, удалось вычислить приходную часть баланса массы ледникового купола за зиму 2022 года, то есть зимний баланс массы.

Несколько осложнили снегомерную съемку отсутствие транспорта до ледникового купола и постоянные густые туманы, при которых приходилось двигаться по куполу, только ориентируясь на GPS.

Для получения летней составляющей баланса массы в течение летнего сезона еженедельно проводились измерения высоты абляционных реек, установленных на поверхности ледникового купола, а также толщины снега у них (при наличии). Кроме того, измерялась толщина наложенного льда у реек. Всего на поверхности купола

установлено 29 реек, расположенных по профилям: по одному на восточном, южном, юго-западном склонах и два на западном. Еженедельные измерения реек позволяют проследить динамику таяния снега и льда и зависимость таяния от температуры воздуха и количества выпавших осадков. Для сравнения используются данные по температуре воздуха на метеостанции Беллинсгаузен. По мере вытаивания изо льда абляционные рейки устанавливались в новые скважины, создаваемые при помощи штатного винтового бура для льда, который имеется на станции. Измерение высоты реек проводилось с помощью рулетки, а для измерения толщины снега у реек использовался металлический щуп.

При просачивании талой воды в снег в его основании на контакте с холодным льдом весной вырастает слой так называемого наложенного льда. Поскольку наложенный лед относится к приходной части баланса массы, то его толщину необходимо измерять, чтобы понимать состояние ледника в каждой конкретной точке. Щуп не способен пробить слой наложенного льда, поэтому для определения его толщины был использован кольцевой бур диаметром 10 см. Средняя толщина наложенного льда колеблется около 15 см при разбросе от 8 до 23 см. Эти измерения проводились после стаивания снежной толщ у каждой абляционной рейки. При таянии наложенного льда общий баланс массы у данной рейки является отрицательным, а при сохранении наложенного льда — положительным. Важность измерения толщины наложенного льда определялась еще и тем, что из-за пандемии ковида наблюдения в сезон 67-й РАЭ продлились всего один месяц и завершились еще до окончания сезона абляции на ледниковом куполе, в конце февраля 2022 года, то есть в сезон 67-й РАЭ не удалось получить данные не только для зимнего, но и для летнего баланса массы. Все абляционные рейки на ледниковом куполе с прошлого сезона сохранились. Поскольку наложенный лед возникает в основании снега, то его нижняя граница маркирует максимальную высоту рейки в конце летнего периода. Значит, зная толщину наложенного льда там, где снег стаивал полностью, можно было оценить величину таяния на каждой рейке в предыдущий сезон абляции. Таким способом нам удалось восстановить величину таяния в предыдущий сезон абляции почти полностью, что позволит восстановить летний баланс массы 2022 года. Установить зимний баланс массы на куполе за 2021/22 год будет сложнее, поскольку к нашему появлению на ледниковом куполе в конце января 2022 года снег сохранился только в верхней его части и связь снегонакопления на куполе и на метеостанции Беллинсгаузен очень слабая. Но, возможно, это удастся сделать по температурному градиенту таяния снега, рассчитанному по другим годам исследований. Чтобы избежать таких сложных расчетов, точность которых неизвестна, гораздо проще получить точные данные по динамике ледникового купола при продолжении регулярных наблюдений на нем.

В целом за время наблюдений на ледниковом куполе было отмечено несколько периодов с положительным



Бурение скважины во льду для абляционной рейки

балансом массы, что маркирует периоды некоторого понижения температуры воздуха в регионе Антарктического полуострова. Такие похолодания были отмечены в 2009/10, 2010/11, 2012/13–2015/16, 2018/19 годах. Некоторые исследователи считают, что это связано с похолоданием климата на Антарктическом полуострове. Однако в последние годы периоды с пониженной температурой воздуха перемежаются с очень теплыми годами, как, например, в 2019/20 году, когда летнее таяние снега и льда на куполе оказалось самым интенсивным за весь период наблюдений. Поэтому тенденцию изменения баланса массы на куполе и хода летних температур можно будет оценить только через некоторое время.

Обычно Антарктику представляют как зону чистого льда и снега. На самом деле это не так. Снег не совсем белый из-за пыли, которую приносит с окружающих

многочисленных скальных поверхностей на полуострове Файлдс, которые зимой не закрываются снегом. Не является чистым и ледниковый лед на куполе Беллинсгаузен. Дело в том, что в толще льда много прослоек вулканического пепла, который был принесен с вулкана Десепшен, находящегося в 120 км к запад-юго-западу от ледникового купола. Извержения происходили довольно часто, поэтому таких прослоек по льду много. Последнее извержение, пепел которого попал на купол Беллинсгаузен, было в 1970 году. Когда снег и наложенный лед на поверхности ледникового купола стаивают, то в обнажившемся ледниковом льду становятся видны пепловые прослойки. По мере таяния льда пепел водой сносится вниз по склону. Поскольку пепел темный, то он нагревается солнечной радиацией, формируя многочисленные криоконитовые стаканы

В ледниковой пещере под пиком Горацио



самых разных размеров с диаметром от миллиметра до 10–15 см. Максимальная глубина таких стаканов не превышает 30–35 см. Формирование криоконитовых стаканов ускоряет таяние льда. Пепел, снесенный в нижнюю часть склона ледникового купола, местами создает почти сплошной пепловый слой на поверхности льда. Из-за этого такой «грязный» лед сильнее нагревается и тает значительно быстрее чистого льда, так что присутствие пепла во льду ледникового купола способствует усилению таяния льда. В нижней части ледникового купола отдельные кристаллы льда имеют размер от 10 см и выше. При протаивании в них частиц пепла лед на поверхности купола становится буквально ажурным из-за большого количества пустот, возникших в нем.

За период наблюдений с 2007 года в основании ледникового купола растаяло около 10 м ледникового льда. В сторону вершины ледникового купола слой таяния уменьшался. А к юго-востоку от вершины ледникового купола за это время произошло накопление не менее 3,5 м льда. Конечно, общий баланс массы ледникового купола с 2007 по 2023 год отрицательный. Но не следует забывать, что высота ледникового купола Беллинсгаузен всего 250 м над уровнем моря, однако даже на этом куполе есть участки накопления льда. Самая большая высота ледниковых куполов острова Кинг-Джордж (Ватерлоо) превышает 700 м над уровнем моря. Поскольку в среднем граница между областью абляции и аккумуляции проходит ниже 250 м над уровнем моря, то понятно, что на большей части острова накопление льда превышает его расход, который происходит как за счет таяния снега и льда, так и за счет откола айсбергов на выводных ледниках острова. Это также означает, что накопление массы на куполах острова не может идти беспредельно. В конце концов накопленная масса льда в верхней части куполов острова заставит выводные ледники двигаться быстрее и выносить больше льда в море в виде айсбергов. Когда начнется этот процесс, пока сказать невозможно, поскольку мы не знаем время отклика местных ледников на изменение массы. Но это должно неизбежно произойти.

Для изучения динамики активного слоя вечной мерзлоты, повсеместно распространенной на острове, проводились наблюдения на субширотном мерзлотном профиле, в состав которого входят 8 точек. В каждой точке с частотой раз в неделю измерялась толщина оттаявшего слоя грунта и температура грунта на разных глубинах. Это позволяет получить не только фактические данные для характеристики изменения активного слоя грунта в течение летнего сезона, а значит, и особенностей таяния сезонно-мерзлых и многолетнемерзлых пород, но и данные для проведения модельных расчетов. В целом к концу летнего сезона грунт в точках наблюдений оттаивает на глубину 1–1,5 м. За лето 2022/23 года толщина активного слоя несколько превысила среднее значение.

В дополнение к этим работам в начале сезона, пока был снег на территории станции Беллинсгаузен, проводились измерения величины испарения или конденсации на снег в процессе его таяния, что позволит оценить вклад этих процессов в таяние снега (ранее эти факторы не учитывались как неизвестные). В качестве испарителей использовались белые пластмассовые емкости объемом 0,5 л и портативные электронные весы. Емкости заполнялись снегом и устанавливались в углубления в снегу вровень с его поверхностью. Наблюдения

продлились около 2 месяцев и завершились 7 января 2023 года, когда снег на территории станции полностью исчез. После этого проводился эксперимент по изучению изменения изотопного состава воды при испарении в условиях морского климата. Для этого в емкости испарителя при понижении уровня воды отбирались пробы в пластмассовые пробирки для дальнейшего измерения изотопного состава воды в лабораторных условиях.

Также для проведения изотопного анализа ежедневно отбирались пробы воды из ручья Станционный и из всех выпадающих осадков. Отбор проб воды для изотопного анализа производился и из ручья Корабельный, протекающего по территории уругвайской станции Артигас, который питается в основном тальми водами с ледникового купола Беллинсгаузен. Пробы брались раз в неделю или чаще. Это позволит оценить вклад в речной сток разных составляющих: таяние снега и льда, сток выпавших осадков, таяние многолетней мерзлоты.

Поскольку последние несколько лет отличались достаточно теплыми летними сезонами, то на некоторых участках ледникового купола край льда стал отступать. На месте отступившего льда обнажились участки поверхности рельефа с остатками мертвого мха. Этот мох вырос до того, как его накрыло льдом. Мы отобрали образцы этого мха для радиоуглеродного датирования в надежде, что по времени гибели мха удастся более точно оценить, когда происходило наступление льда на ледниковом куполе. Возможно, по полученным данным датирования удастся также оценить примерную скорость наступления края льда. Это важно для палеогеографических построений на территории полуострова Файлдс.

В предыдущие годы на полуострове Файлдс и на краю ледникового купола было обнаружено несколько ледниковых пещер. Их изучение помогает понять, как такие полости внутри льда и подо льдом образовались и какое влияние на ледники они оказывают сейчас и могут оказать в будущем. В сезоне 68-й РАЭ было обследовано три ледниковых пещеры, оценено их состояние и характер изменений с предыдущего сезона абляции. Оказалось, что одна ледниковая пещера, расположенная в западной части полуострова Файлдс у пика Горацио, изменилась незначительно, в то время как две другие пещеры, расположенные к северу от ледникового купола Беллинсгаузен, претерпели серьезные изменения. Морская пещера сократилась в размерах из-за обрушения свода, а пещера под нунатаком уменьшилась в размерах из-за протаивания свода над значительным протяжением галерей.

В конце февраля была проведена серия измерений толщины оттаявшего слоя на площадке CALM в бухте Биологов в квадрате 100×100 м по сетке через каждые 10 м. Здесь также было отмечено превышение средних значений активного слоя многолетнемерзлых пород. В конце сезона планируется снять показания с датчиков температуры, установленных в грунте под разными видами растительности (лишайник, мох и щучка) и на площадке CALM, в скважине у метеоплощадки, а также с температурных датчиков на ледниковом куполе. Всё вместе после обработки полученных результатов поможет охарактеризовать современное состояние природного комплекса на полуострове Файлдс.

*Б.Р. Мавлюдов (Институт географии РАН).
Фото автора*