

ЛЕДНИКИ БАЙКАЛЬСКОЙ ЛЕДНИКОВОЙ СИСТЕМЫ: НЕДАВНИЕ ОТКРЫТИЯ

Известно, что большая часть водно-ледовых ресурсов Земли сосредоточена в полярных покровах Антарктиды и Гренландии, архипелагах Российской и Канадской Арктики. Роль континентальных горных ледников кажется менее «глобальной» и потому менее важной, однако это не так: режим и состояние горного оледенения оказывают влияние на часть гляциосферы, в пределах которой образуется талый сток.

С точки зрения фундаментальной науки горные ледники небольшого размера крайне чувствительны к колебаниям климата, регионального в первую очередь. Их балансовые показатели являются хорошими индикаторами изменений климата в регионе и, что важно, указывают на порог перехода его в другое состояние. Например, определенная комбинация климатических параметров может способствовать либо сдвигу ледников в системе, либо началу их роста и продвижения. Помимо климата на состояние небольших ледников в ледниковой системе влияют их вмещающая форма в рельефе, локализация ледников на том или другом склоне хребта, ориентация самих хребтов и другие факторы.

Возможны ли географические открытия в наше время космических технологий? Ответ — это вполне реально: именно космическая съемка Земли помогает обнаружить новые объекты, но на снимках они даже при высоком разрешении (такие снимки коммерческие и не всем доступны) видны недостаточно адекватно, необходима проверка на местности.

Так произошло с открытием новых небольших ледников на Верхнеангарском хребте. Сначала на космических снимках были обнаружены три ледника на северо-западном отроге центральной части Верхнеангарского хребта, которые не упоминаются в Каталоге ледников СССР и каких-либо статьях. Они включают в себя небольшие холодные ледники и другие малые формы. Эти ледники необходимо было исследовать на местности, и основная трудность состояла в полном отсутствии дорог и проторенных троп в этом районе.

При проведении изысканий вдоль будущей трассы БАМа специальные гляциологические исследования на Верхнеангарском хребте не проводились. Топографы и геологи также работали лишь вдоль известных марш-

рутов по рекам и ручьям, поэтому многие кары и перевалы не исследованы.

Сотрудниками Института географии им. В.Б. Соचाва СО РАН (Иркутск) описаны группы ледников, существующие в пределах Байкальского и Баргузинского хребтов, и теперь, после открытия Верхнеангарской группы, все эти объекты можно, по-видимому, связать климатически с Байкальской котловиной (рис. 1).

Горные ледники этого региона умеренного пояса, подобно арктическим и субарктическим низкогорным ледникам Урала, западной части плато Путорана и вос-

точного побережья Чукотки, в условиях сухого континентального климата существуют в основном за счет поступления осадков с Атлантики и Северного Ледовитого океана.

Их объединяют общие черты: малые размеры; расположение на затененных склонах северо-западной экспозиции; ледники не имеют разделения областей питания и абляции; они малоподвижны. Подобные ледники имеют запас холода и способны сдерживать тепляющее воздействие дождевых вод за счет механизма образования наложенного льда.

Понятие «малые формы оледенения» ввел М.В. Тронов в 1954 году.

Оно включало непосредственно ледники, многолетние снежники с ледяным ядром и перелетывающие снежники. Снежно-ледовые образования составляют единый ряд: сезонные снежники, снежники-перелетки, фирновые ледники — малые ледники. Фирновый ледник — промежуточная фаза между снежником и малым ледником.

В 30-х годах прошлого века во время 2-го Международного полярного года появились сведения о навейных ледниках на арктических островах и в субарктике (Земля Франца-Иосифа, Полярный Урал и др.). Малые формы были также названы эмбриональным оледенением (определение П.А. Шумского, 1955); это не связано с молодым возрастом), таковые распространены на Южном острове Новой Земли, в Приполярном и Полярном Урале, горах Чукотки. Этим термином можно обозначить совокупность свойств малых форм оледенения: небольшие размеры, наличие фирна, слабое разделение областей аккумуляции и абляции и пр.



Рис. 1. Схема Байкальской ледниковой системы

Результаты экспедиций в район Верхнеангарского хребта — 2017–2019

Летом 2017 года один из авторов статьи побывал в этом районе и описал самый крупный ледник из Верхнеангарской группы — Огдында-Маскит.

Район его расположения — Становое нагорье, северо-западный отрог центральной части Верхнеангарского хребта. Координаты: широта — 56°12'20", долгота — 110°53'51", экспозиция ледника — северная (рис. 2). Ледник можно отнести по морфологическому типу к каровому, находящемуся в стадии деградации. О нем подробнее будет сказано ниже.

Огдында (*эвенк.*) — от эвенкийского «Агдында». «Агда» — «гром», «гроза» + топоформант «нда». Агды — бог огня и молнии (у славян — это Перун). Иногда Агды представляется как старец, который просыпается весной, высекает кресалом огонь, и от этого на земле происходят гром и молнии.

Рельеф района представляет собой среднегорье, сильно расчлененное и труднопроходимое, высота вершин 2200–2400 м, перевалов 1800–2200 м, повсеместное распространение многолетней мерзлоты.

В центральной части Верхнеангарского хребта и его северных отрогов выражен ледниковый рельеф.

Рельеф района ледника Огдында-Маскит — выработанный ледниковый. Левый приток р. Огдында-Маскит находится в глубокой троговой долине, впадины заполнены ледниковыми озерами, прослеживается несколько морен плейстоценового оледенения, у поворота долины на восток устьевой ригель во всю ширину высотой 80 м. В верхней части долину окружают вершины-карлинги.

В районе Верхнеангарской котловины климат резко-континентальный, количество осадков в среднем до 500 мм/год. В гольцовой зоне климат можно отнести к субарктическому типу, количество осадков возрастает до 1200–1500 мм/год.

Влияние воздушных масс прослеживается с запада на восток: это осадки, поступающие с западным переносом с Атлантического и Северного Ледовитого океанов и со стороны Байкальской котловины.

Влажный воздух Байкальской котловины по долине р. Кичера огибает Верхнеангарский хребет и в районе водораздела с бассейном реки Левая Мама сталкивается с холодными массами арктического воздуха, обеспечивая туманы и большое количество осадков (1000 мм в год и выше), с середины августа по июнь выпадающих в виде снега в верховьях долины р. Огдында-Маскит. Площадь многолетних снежников достигает 1 кв. км и более, они почти полностью заполняют дно и склоны цирка. Повсеместно встречаются наледи и каменные глетчеры. Летом обычны туманы и низкая облачность, солнце появляется на

несколько часов, обычно перед заходом. Дно долины вдоль реки выше 1600 м покрывает тундровая растительность, а снежники лежат до отметки 1700 м.

Район озера Байкал характеризуется рекордным количеством солнечных дней в году в силу положения озера в окружении хребтов и специфики атмосферной циркуляции. Под действием поднятия воздушных масс на наветренные склоны хребтов происходят процессы конденсации. Период от начала замерзания до установления ледостава (январь), когда происходит интенсивное образование нижней облачности за счет испарения влаги с его свободной ото льда водной поверхности, важен для дополнительного питания ледников, которые расположены на горных поднятиях.

При температуре поверхности снега –7 °С, температуре воздуха 0 °С и 100 % влажности на поверхности снега за месяц может сформироваться до 10 см снега (иней) плотностью 150 кг/м³. Такая разность температур может возникать за счет поступления более теплого и влажного воздуха с оз. Байкал. При разности температур –2 °С сформируется до 2,5 см снега (иней) за месяц (только за счет разности температур и влажности воздуха).

Если ледник будет в зоне низкой облачности, то могут формироваться другие виды твердых осадков за счет осаднения и замерзания переохлажденных капель воды.

Байкальская влага идет на образование мощного снежного покрова на склонах хребтов — свыше 1 м. В зимних туристических отчетах есть описания многометровых снежных надувов. Один из них мощностью свыше 3 м в июле 2017 года один из авторов обнаружил на перевале Огдында-Маскит южный (Верхнеангарский хребет). Высота снежного покрова по среднеклиматическим данным для этого района около 40 см. Сезонные снежники стаивают в августе, а ледники существуют там, где им позволяет рельеф, — в глубоких карах на северных, северо-восточных склонах, под затеняющей скальной стеной.

Горные массивы служат центрами конденсации влаги из Байкальской котловины. Огдында-Маскит — это навечно-лавинный ледник. Он питается снегом, сдуваемым с окружающих гор и возникающим за счет обрушения навесных карнизов и обильной изморози, образующейся на склонах кара.

На Верхнеангарском хребте в большом количестве существуют и другие малые формы оледенения, в основном в виде очень плотных фирновых снежников с краевыми наледями и подстилающей ледяной основой. Некоторые из них являются многолетними. Обнаружены также ледниковые образования — ледник Горбатенький, Юрьева и уже почти стаявший ледник Кичера. Они занимают верхние кары висячих долин восточной экспозиции и в наибольшей степени сократили свои размеры — до 30 % пло-

Рис. 2. Каровый ледник Огдында-Маскит



щади за 1 год. Ледники северных каров пока сохранили размеры, но потеряли несколько метров своей толщи.

Эта тенденция прослеживается на Верхнеангарском и Байкальском хребтах, а также на ледниках хребта Кодар.

Современные контуры ледников были нами определены по мозаике спутниковых снимков сверхвысокого пространственного разрешения (менее 1 м), предоставляемой сервисом Bing Maps. Снимки, лежащие в основе этой мозаики, были

сделаны 31 июля 2013 года. В качестве дополнительного источника информации о положении ледников был использован более современный снимок Sentinel-2B (разрешение 10 м) от 11 августа 2018 года. Была также предпринята попытка определить контуры ледников на середину XX века. Снимок, отражающий историческое состояние ледников, был получен космическим аппаратом миссии CORONA (США) 21 августа 1967 года. К сожалению, на этот район нам удалось найти снимок, где из-за облачности видны лишь несколько ледниковых объектов. И это было лучшее, что предоставляет Геологическая служба США в открытом доступе.

Судя по снимкам, изменение площади ледника Огдында-Маскит за 50 лет незначительно ~ 10 %, ледника Юрьева же 50 %, он почти не имеет поверхностного моренного чехла, что сказалось на большем стаивании. Снежник, попавший на снимок CORONA (снежник это или ледник, можно узнать, проверив на местности), уменьшился еще больше — 52,8 %. Видно, что этот объект не забронирован каменным чехлом и более чувствителен к изменениям соотношения температуры и осадков.

Температура льда бы-ла измерена на леднике Огдында-Маскит во время экспедиции в июле 2018 года, в самый жаркий месяц, в фирновом слое, в нижней



Рис. 3. Узловая вершина 2321 м северного отрога Верхнеангарского хребта. Внизу – перевал Ледниковый. Справа – кар ледника Огдында-Маскит

ков в зоне умеренного пояса на высотах всего 1800–2000 м, а также их устойчивость к изменениям климата — это наличие подстилающих многолетнемерзлых пород. При круглогодичной отрицательной температуре подлежащего слоя ледник относится к типу очень холодных. Для него характерно нерасчлененное ледяное ядро, отсутствие донного таяния, малая (близкая к нулю) скорость движения, слабовыраженная сглаженная и растянутая отложенная морена.

Возникновение «эмбриональных» ледников в древних карах и их потенциально возможный рост при резком увеличении количества осадков в данном районе также, по-видимому, связаны с подстилающей мерзлотой.

Какие же еще условия имеют место для существования здесь ледников, малых форм оледенения (МФО)?

Климатические причины заключаются в следующем: как и на Кодаре, расположенном относительно близко к Верхнеангарскому хребту, значительные осадки в твердой фазе, метелевый транзит и лавинная концентрация снега обеспечивают положительный баланс снегового питания и, как следствие, образование МФО.

Формы рельефа также существенны для сохранности ледников и других МФО. Они находятся, главным образом, в глубоких карах и троговых долинах, где имеет

части ледяного ядра и в подлежащем слое донной морены. Вечером перед заходом солнца термодатчики помещались в бергшруд на веревке на глубину 4 м, на дно шурфа глубиной 0,5 м в основании ледяного ядра и в шурф глубиной 0,3 м, пробитый среди камней донной морены. Утром до восхода солнца снимались показания приборов. Все термодатчики показали температуру $-3,0$ °С. Полученные близкие по величине значения объясняет одно из условий существования ледни-

Рис. 4. Гладкие стены ледникового цирка способствуют аккумуляции снега в фирновом бассейне





Рис. 5. Смена направления оси движения в результате деградации ледника:
1 – ось присклонового ледника; 2 – граница присклонового ледника;
3 – ось современного ледника (2019 г.); 4 – граница современного ледника

место эффект затененности. Что касается ледника Огдында-Маскит, то крутые и гладкие стены вмещающего кара, сложенные гранитами и пегматитами, закрывают ледник от солнечных лучей (на западную часть ледника солнце попадает только с востока, в этой части ледниковый язык круче обрывается и имеет меньшую высоту). Снег не успевает таять и испаряться, а соскальзывает с гладких склонов, пополняя фирновый бассейн, питающий ледник (рис. 3, 4).

Прошлое ледника Огдында-Маскит можно проследить с голоценового времени. В период климатического оптимума первой половины голоцена, когда среднегодовая температура существенно превышала современный уровень, ледник в верховьях долины р. Огдында-Маскит, вероятно, полностью растаял. Похолодание наступило в Восточной Сибири довольно резко и вызвало понижение снеговой линии, что при неизменном количестве осадков в условиях резко континентального климата вызвало увеличение длительности выпадения осадков в твердой фазе, а следовательно, увеличение размеров метелевого переноса и лавинного питания. В вершине троговой долины на подветренном склоне вдоль скальной стены вновь возник многолетний снежник, позднее сформировался присклоновый ледник, в котором ширина существенно превышала длину, а ось ледника была направлена на северо-восток в направлении метельного

Рис. 7. Общий вид каровой лестницы ледника Разорванный на Байкальском хребте. На переднем плане каровый ледник Разорванный-3 северной экспозиции



Рис. 6. Русловой лоток стока современного ледника Огдында-Маскит перегораживают 3 гряды поперечных стадияльных морен, отражающие осцилляции при отступании ледника

переноса. В результате ледник длительное время наступал поперек троговой долины, формируя конечную морену. В период следующего климатического оптимума началось отступление ледника за счет таяния нижней приозерной части и уменьшения мощности льда. В результате таяния ось ледника сместилась и стала соответствовать уклону дна долины (рис. 5, 6).

В настоящее время окончание ледникового языка законсервировано под покрывающим его снежником и в размерах практически не меняется. Уменьшается только мощность ледяного ядра в районе прогреваемого солнцем западного склона кара.

Уменьшение мощности при сохранении размеров современных ледников северной экспозиции также характерно для ледников Разорванный на Байкальском хребте (рис. 7, 8) и Азаровой на хребте Кодар. Ледник Разорванный был также обследован во время августовской экспедиции 2019 года.

Ниже представлена схема динамики оси ледника и морен с голоценового времени (рис. 9).

Голоценовые ледники (такие, как Огдында-Маскит и Разорванный) повторно формировались в карах плейстоценового оледенения. Протяженные скальные стены, обрамляющие трого, служат экранами для снегонакопления. Ледники возникали как присклоновые и не всегда занимали весь кар. Их конечная морена тянется

Рис. 8. Конечная морена ледника Разорванный-3 также не соответствует направлению движения современного ледника



вдоль скальной стены на некотором удалении перпендикулярно оси ледника, часто вдоль оси троговой долины с обеих сторон под ее скальными стенами. Такое расположение морен выглядит непривычно, и первоначально они принимались за каменные глетчеры.

Самостоятельность Байкальской физико-географической страны отмечается во всех результатах исследований. Влияние Байкала на его побережье распространяется до вершин горных хребтов, окружающих озеро. В теплом полугодии при тихой погоде охлаждающее влияние Байкала проявляется в среднем до 250–500 м высоты по обращенным к нему береговым склонам. Но оно может значительно возрасти или уменьшиться под влиянием ветровых потоков. В холодное время года теплое воздействие Байкала

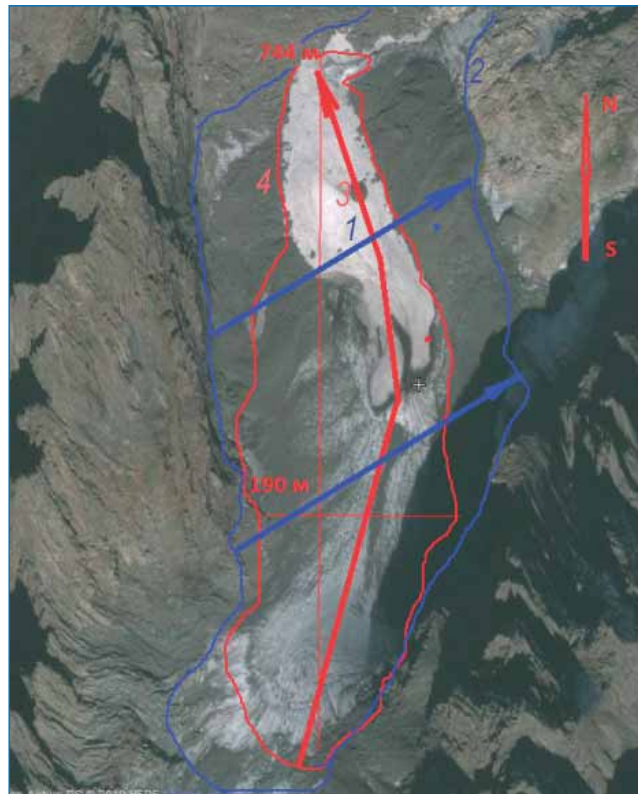


Рис. 9. Изменение направления движения и оси ледника Разорванный-3 при повышении снеговой линии в исторический отрезок существования ледника:
1 – ось присклонового ледника; 2 – граница присклонового ледника;
3 – ось современного ледника (2019 г.); 4 – граница современного ледника

достигает 2–2,5 км над его поверхностью, а по долинам рек — до 30–50 км и более. Над котловиной Байкала с воздушными массами в течение года проносится в среднем около 100 км³ влаги.

В долинах рек Верхний Колдас и Асикта, расположенных дальше к востоку, влияние воздушных масс Байкала не сказывается и современное оледенение отсутствует, хотя имеется схожий альпийский рельеф.

Таким образом, обнаруженные малые формы оледенения Верхнеангарского хребта вместе с ледниками Байкальского и Баргузинского хребтов составляют Байкальскую ледниковую систему, ранее не выделявшуюся.

*М.Д. Ананичева,
Г.Ю. Пакин
(Институт географии РАН).
Фото Г.Ю. Пакина*

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ МЕДИКО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА НИС «ЛЕДОВАЯ БАЗА МЫС БАРАНОВА» (АРХ. СЕВЕРНАЯ ЗЕМЛЯ)

В отделе геофизики проводятся исследования нетривиальных гелиофизических факторов, способных оказывать воздействие на человека и среду его обитания независимо от проявлений солнечной активности (СА), а также интенсивности галактических и солнечных космических лучей. Как правило, эти факторы относятся к неэлектромагнитному диапазону и, в отличие от солнечных вспышек и геомагнитных возмущений, характеризуются скоростью мгновенного воздействия. Оценка такого воздействия на характеристики сенсоров и показатели жизненно важных функций человека является проблемно-ориентированной задачей геофизических исследований на период 25-го цикла СА (2020–2031 годы).

К основным биомаркерам человека, способным реагировать на изменения геофизической среды, относятся артериальный пульс (Pulse) и кровяное давление, которое при каждом ударе сердца колеблется между систолическим (верхнее, Ps) и диастолическим (нижнее, Pd). Эти биомаркеры были выбраны для проведения предварительных медико-геофизических наблюдений на научно-исследовательском стационаре «Ледовая база Мыс Баранова» в 2017 году (рис. 1). Цель исследований состояла в изучении «контрответа» показателей Ps, Pd и Pulse на прохождение Солнца через меридиан (кульми-

нация). Научным основанием исследований послужили результаты эксперимента академика М.М. Лаврентьева и др. (1990), свидетельствующие об изменении характеристических значений физического датчика и биологического индикатора во время прохождения Солнца через меридиан. Учитывая сезоны незаходящего и невосходящего Солнца за полярным кругом, исследование реакции показателей геофизической среды и биосферы на положение Солнца представляет фундаментальное значение в проблеме адаптации организма человека к условиям высоких широт Арктики и Антарктики.

Программа наблюдений выполнялась с 22 января по 18 апреля 2017 года в полуденном интервале с 13 ч 00 мин до 13 ч 45 мин (UTC+8). Донором биомаркеров был сотрудник станции без вредных привычек и хронических заболеваний (мужчина 35 лет). Сеансы измерений проводились с помощью тонометра A&D Medical UA по схеме интервалов с учащением сеансов до 2–3 мин к моменту кульминации Солнца в 13 ч 21 мин. В итоге за весь период наблюдений проведено 447 измерений (149 по каждому биомаркеру). Средние значения показателей составили: Ps~125 мм рт. ст., Pd~78 мм рт. ст. и Pulse~75 уд/мин, что соответствует хорошему состоянию сердечно-сосудистой системы в экстремальных условиях.