

Изотопный состав и палиноспектры атмосферных осадков и краевых частей ледника Корумду (Северо-Чуйский хребет, Горный Алтай)

© 2015 г. Т.С. Папина¹, Н.С. Малыгина¹, Т.А. Бляхарчук³, Г.И. Ненашева²,
Н.А. Рябчинская², А.Н. Эйрих¹

¹Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул; ²Алтайский государственный университет, Барнаул;

³Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск

papina@iwep.ru

Isotopic composition and pollen spectra of precipitation and ice at the edge part of Korumdu Glacier (North Chu ridge, Altai Mountains)

T.S. Papina¹, N.S. Malygina¹, T.A. Blyakharchuk³, G.I. Nenasheva², N.A. Ryabchinskaya², A.N. Eyrikh¹

¹Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Barnaul; ²Altai State University, Barnaul;

³Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Tomsk

Статья принята к печати 23 мая 2014 г.

Биоаэрозоли, изотопный состав атмосферных осадков и ледников, палинологические спектры.

Isotopic composition of precipitation and glaciers, palynological spectra, primary biological aerosol particles (PBAP).

На примере изучения изотопного состава и палиноспектров краевых частей ледника Корумду (Северо-Чуйский хребет, Горный Алтай), а также атмосферных осадков, выпадавших в этом ледниковом бассейне, обоснована возможность идентификации источников и путей поступления осадков (влаги) в нивально-гляциальные области Алтая. Показано, что результаты изотопного и спорово-пыльцевого анализа атмосферных осадков конкретных единичных событий и обратные траектории движения воздушных масс (модель HYSPLIT) позволяют получать объективную информацию о генезисе приходящей в Алтайский регион атмосферной влаги, а также определять источники поступления пыльцы растений на территорию изучаемого региона.

The article presents the results of study of the isotopic composition and pollen spectra in the edge part of Korumdu Glacier (North Chu ridge, Altai Mountains), as well as atmospheric precipitation, in order to identify the sources and path of precipitation in the nival-glacial zone of Altai.

Введение

Изотопный состав и палинологические спектры атмосферных осадков и поверхностного льда высокогорных ледников в совокупности с данными по макроциркуляционным процессам позволяют надёжно идентифицировать источники формирования влаги во внутриконтинентальных районах как на глобальном, так и на региональном уровнях. Пыльцевые спектры атмосферных осадков и ледникового льда содержат также важную информацию о палинологической составляющей первичных биоаэрозолей (primary biological aerosol particles — PBAP), интерес к изучению которых в последние десятилетия во всем мире значительно возрос [14]. Это связано с тем, что многие исследователи предполагают, что первичные биоаэрозоли, представляя собой ядра конденсации, значительно влияют на процесс формирования облачности и осадков, а соответственно и на гидрологические циклы и климат, в первую очередь на региональном уровне [13, 18, 19].

Для нивально-гляциальных областей актуальность изучения взаимодействия атмосферных

осадков и ледниковых комплексов обусловлена необходимостью определения вклада различных типов питания при оценке водно-ресурсного потенциала этих территорий. Предполагается, что в районах горного оледенения происходит многолетнее перераспределение атмосферных осадков, которое может вызывать значительное изменение суммарного стока с территории и, естественно, многолетнего и годового водного баланса [9, 11]. Многие авторы считают, что задачу оценки составляющих водного баланса в горно-ледниковых регионах можно успешно решить с помощью изучения изменений изотопного состава ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$) ледникового льда, поверхностных вод и атмосферных осадков [20]. Поскольку атмосферные осадки служат исходным источником формирования других составляющих водного баланса территории, их всестороннему изучению при проведении исследований такого рода уделяют особое значение.

Цель настоящей работы — обоснование возможности использования данных палинологического и изотопного состава атмосферных осадков и ледникового льда для определения ис-

точников и путей поступления влаги (осадков) и пыльцы растений в нивально-гляциальные области Алтая (на примере краевых частей ледника Корумду, расположенного в горно-ледниковом бассейне массива Биш-Иирду, Северо-Чуйский хребет, Горный Алтай).

Район исследований

Алтай расположен в западной части Алтае-Саянской горной страны. На севере территория граничит с Западно-Сибирской равниной. Западная и юго-западная границы выражены менее чётко, при этом веерообразно расположенные снижающиеся горные хребты Алтая постепенно сменяются казахским мелкосопочником (рис. 1). На юге и юго-востоке Алтай примыкает к Монгольскому Алтаю по линии пограничного массива Табын-Богдо-Ола и отходящих от него хребтов, на востоке граничит с районами Тувы. Северо-восточная граница с Западным Саяном и Горной Шорией проведена условно по водоразделам бассейнов рек Би, Абакана и Томи.

К наиболее приподнятой части Алтая относится Центральный Алтай. Своеобразие его природных условий во многом определяют рельеф и геологическое строение территории. В пределах Центрального Алтая выделяют две горные цепи: северную и южную. Южная цепь образована Южно-Чуйским и Катунским хребтами, а также хребтом Листвяга; северная – Северо-Чуйским и Теректинским хребтами. Для Центрального Алтая характерны большие контрасты в рельефе отдельных территорий. Основное ядро – Катунский хребет с высшей точкой Алтая горой Белуха (4506 м), Северо-Чуйский (4173 м) и Южно-Чуйский (3960 м) хребты. Все эти хребты имеют альпийский облик, сильно расчленены и покрыты снежниками и ледниками [1, 2].

Наиболее крупные центры оледенения сосредоточены в Катунском, Южно-Чуйском и Северо-Чуйском хребтах. Для этих хребтов характерно оледенение альпийского типа с преобладанием долинных и карово-долинных ледников. Ледники по территории распространены неравномерно и группируются вокруг наиболее высоких вершин и массивов (гора Белуха, массив Биш-Иирду, гора Иикту). Ледник Корумду, расположенный на северном макросклоне Северо-Чуйского хребта (см. рис. 1), относится к

одному из наиболее крупных горно-ледниковых бассейнов массива Биш-Иирду [1, 4].

Согласно геоботаническому районированию Алтая, выполненному А.В. Куминовой (1960 г.), исследуемый район относится к Алтае-Саянской провинции подпровинции Центральный Алтай, входит в Центрально-Алтайский высокогорный округ Чуйского высокогорного района. Территория данного геоботанического округа захватывает весь высокогорный пояс Чуйского и Катунского хребтов. Для данного округа характерен также лесной пояс, который присущ главным образом верхним частям северных склонов и небольшим участкам степей. Высокогорный пояс имеет наиболее разнообразный формационный состав: вблизи лесной границы он представлен кедром, а на востоке Чуйского хребта – лиственницей. В Чуйском хребте в отличие от Катунского хребта субальпийские луга отсутствуют, а альпийские луга занимают незначительные площади. В обширных понижениях верховий речных долин, преимущественно на месте исчезнувших водоёмов, развиваются высокогорные осоково-пушицевые болота, а по окраинам – субальпийские заболоченные луга. Высокогорная тундра представлена во всех своих вариантах, при этом наибольшие пространства занимает каменистая тундра [6].

Методика исследований

Отбор проб. Образцы поверхностного льда ледника Корумду и талых вод, стекающих по его поверхности, отобраны 5 июля 2013 г. на высоте около 2200 м. Первая точка отбора (проба 1) находилась в языковой части ледника на расстоянии 15 м от его конца (высота 2296 м), вторая (проба 2) – в 1,5 м вверх по склону (высота 2297 м). Обе пробы отбирали на глубину 10 см и после отбора тщательно перемешивали. Пробу талых вод (проба 3) отбирали в ручье, стекающем по языку ледника в нескольких метрах от места отбора ледниковых проб. Отбор проб атмосферных осадков вели с помощью ловушки Таубера на высоте 1883 м в 8,5 км северо-восточнее точек отбора ледниковых проб. Атмосферные осадки 7 и 8 июля 2013 г. (пробы 4 и 5) были незначительные (не более 2 мм в каждые сутки), а по данным Гидрометцентра России [22], ни одна метеорологическая станция Республики Алтай не зафиксировала выпадение осадков в эти даты. По данным близ-

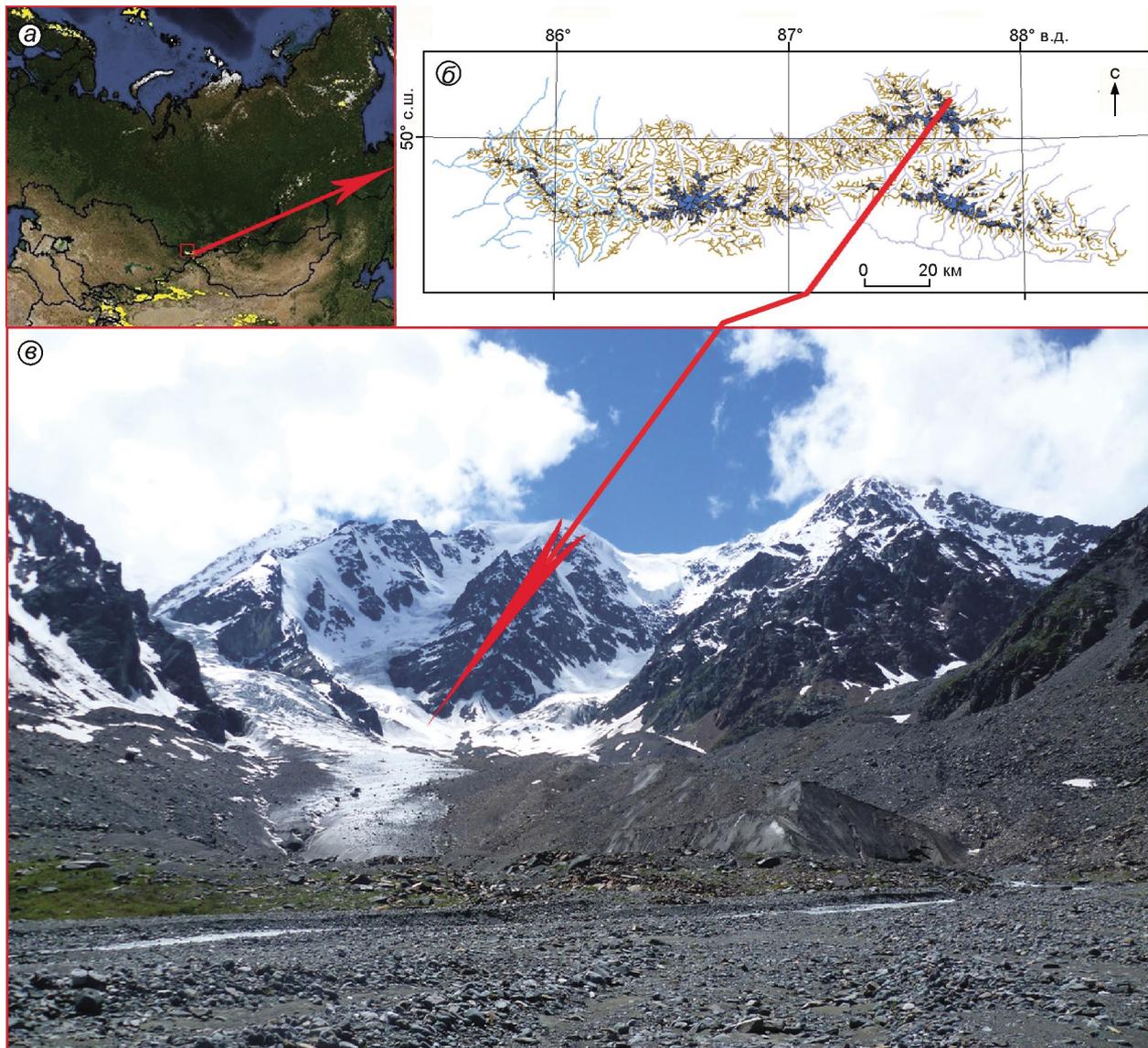


Рис. 1. Район исследований:

a – местоположение района исследований (взято из [23]); *б* – карта ледников Центрального Алтая [5]; *в* – горно-ледниковый бассейн Корумду (фото Н.А. Рябчинской)

Fig. 1. Study area:

a – study area location (picture from [23]); *b* – map of the Central Altai glaciers [5]; *c* – Korumdu Glacier basin (photo by N.A. Ryabchinskaya)

лежащих метеостанций, во время отбора осадков 16 июля (проба *б*) отмечалось ливневое выпадение осадков с существенным понижением температуры (в среднем на 5 °С), при этом на месте отбора пробы осадки выпадали в течение 18 часов.

Изотопный анализ. После отбора пробы ледниковой льда были растоплены при комнатной температуре и, как и пробы атмосферных осадков, помещены в пластиковые герметично закрывающиеся контейнеры. Все пробы до начала

анализа хранили в холодильнике. Определение стабильных изотопов (δD и $\delta^{18}O$) в пробах атмосферных осадков и талого льда проводили методом лазерной абсорбционной ИК-спектрометрии в Химико-аналитическом центре Института водных и экологических проблем СО РАН на приборе PICARRO L2130-i, оснащённом системой WS-CRDS (Wavelength-Scanned Cavity Ring Down Spectroscopy). Наряду с высокой точностью определения, к отличительной особенно-

сти PICARRO L2130-і относительно предыдущих серий прибора относится его высокая стабильность (низкий уровень дрейфа), исключая необходимость многократных калибровок и позволяющая повысить точность определения за счёт дополнительного усреднения значений анализируемого образца. В нашей работе точность определения (1σ , $n = 6$) δD и $\delta^{18}O$ была равна соответственно $\pm 0,4$ и $\pm 0,1\%$. В качестве внутренних стандартов использовались проба воды Телецкого озера (Республика Алтай) и проба талого льда с хр. Сунтар-Хаята (Якутия), которые были откалиброваны относительно Международного стандарта V-SMOW2 (МАГАТЭ). Для подтверждения правильности выполненных нами измерений проведены параллельные анализы проб воды Телецкого озера в лаборатории Ресурсного центра «Геомодель» Санкт-Петербургского государственного университета. Полученные результаты показали соответствие значений в рамках допустимых для каждой лаборатории аналитических погрешностей измерений.

Спорово-пыльцевой анализ. Спорово-пыльцевые спектры выделяли из проб атмосферных осадков (отбор от 16 июля), растопленного льда и воды ледникового ручья при фильтрации через мембранные фильтры с диаметром пор 1 мкм. Осадок с фильтра смывали небольшим количеством дистиллированной воды в стеклянные ёмкости, а затем обрабатывали на центрифуге пять минут при 1500 об/мин. В полученный осадок добавляли несколько капель глицерина до получения однородной суспензии. После тщательного перемешивания каплю суспензии наносили на предметное стекло, окрашивали фуксином и закрывали покровным стеклом. Полученные препараты просматривали на световом микроскопе ЛОМО МИКМЕД-1 при увеличении в 400 раз. Для определения форм пыльцы использовали отечественные и зарубежные атласы и определители пыльцы [3, 7, 8].

Результаты исследований

На рис. 2 приведены значения изотопного состава ледникового льда и выпавших в изучаемом ледниковом бассейне атмосферных осадков. Видно, что изотопный состав анализируемого льда достаточно однороден, при этом изотопный состав осадков, выпавших 7, 8 и 16 июля (соот-

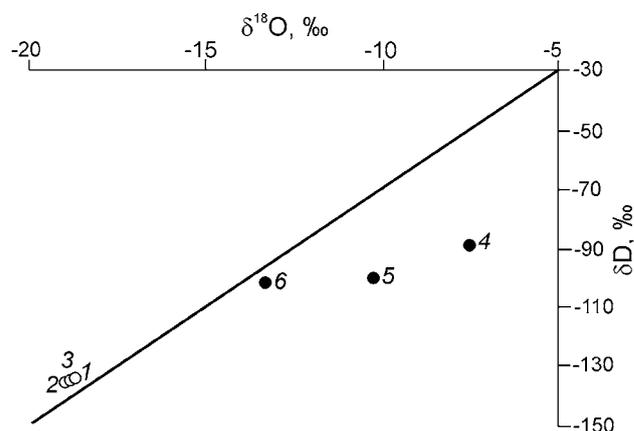


Рис. 2. Соотношение $\delta^{18}O$ и δD в поверхностном льду (пробы 1–2), талых водах (проба 3) и атмосферных осадках (пробы 4–6) бассейна ледника Корумду. Для сравнения приведена глобальная линия метеорных вод [21]

Fig. 2. $\delta^{18}O$ and δD ratio in the surface glacier ice (points 1–2), melt waters (points 3) and precipitation (points 4–6) in the Korumdu Glacier basin.

For comparison, the global meteoric water line (GMWL) [21]

ветственно пробы 4–6), существенно различается между собой. Наиболее близкое соотношение $\delta^{18}O$ и δD к глобальной линии метеорных вод получено для проб с поверхности ледника (пробы 1–3) и пробы осадков, взятой 16 июля (проба 6). Отметим, что ледниковый лёд изотопно облегчён относительно выпадавших осадков.

В таблице приведены результаты спорово-пыльцевого анализа ледниковых проб и пробы атмосферных осадков. Палиноспектры ледниковых проб характеризуются доминированием пыльцы сибирского кедра (*Pinus sibirica*) — до 40,5–49,1%. В пробе воды из ручья, стекающего с ледника, доминирует пыльца карликовой берёзки (*Betula sect. Nanae*). Пыльца травянистых растений, выделенная из ледниковых проб, характеризует главным образом состав местных фитоценозов (*Asteraceae*, *Rosaceae*, *Artemisia sp.*, *Chenopodium sp.*). Таким образом, основные компоненты пыльцевого спектра ледниковых проб представлены типичными представителями горной флоры Центрального Алтая и отражают растительность вертикальных поясов мест отбора проб.

При анализе атмосферных осадков, выпавших 16 июля 2013 г., установлено несколько меньшее видовое разнообразие палиноспектров по сравнению с результатами анализа ледниковых проб. Это объясняется тем, что лед-

Палиноспектры ледниковых проб (пробы 1–3) и атмосферных осадков (проба 6) в бассейне ледника Корумду*

| Компонент палиноспектра | Содержание компонентов, % от общего количества пыльцы в пробе | | | |
|-------------------------------|---|---------|---------|---------|
| | проба 1 | проба 2 | проба 3 | проба 6 |
| <i>Abies sp.</i> | – | – | – | 1,39 |
| <i>Larix sp.</i> | 1,75 | 2,53 | – | 1,39 |
| <i>Picea sp.</i> | – | 3,80 | – | – |
| <i>Pinus sibirica</i> | 49,12 | 40,51 | – | 19,44 |
| <i>Pinus sylvestris</i> | 1,75 | 2,53 | – | 16,67 |
| <i>Alnus sp.</i> | – | – | – | 15,28 |
| <i>Betula sect. Albae</i> | 3,51 | 7,59 | 11,11 | – |
| <i>Betula sect. Nanae</i> | – | – | 59,26 | 2,78 |
| <i>Betula sect. Fruticosa</i> | 3,51 | – | – | – |
| <i>Rosaceae</i> | 10,53 | 8,86 | – | – |
| <i>Ephedra sp.</i> | 3,51 | 6,33 | – | – |
| <i>Asteraceae</i> | 10,53 | 6,33 | – | – |
| <i>Artemisia sp.</i> | 8,77 | 8,86 | 7,41 | – |
| <i>Carex sp.</i> | 1,75 | – | 3,70 | – |
| <i>Chenopodium sp.</i> | 3,51 | 7,59 | 14,81 | – |
| <i>Poaceae</i> | – | – | – | 29,17 |
| <i>Thalictrum sp.</i> | – | – | – | 5,56 |
| <i>Urtica sp.</i> | – | – | – | 8,33 |
| <i>Lycopodium sp.</i> | 1,75 | 5,06 | 3,70 | – |

*Прочерк – не обнаружено.

никовые комплексы содержат интегральную (многолетнюю) информацию в отличие от единичных проб осадков, характеризующих текущее состояние палинологических условий окружающей среды. В пробах осадков доминирует пыльца злаков (*Poaceae*), а также ольховника (*Alnus sp.*), василисника (*Thalictrum sp.*) и крапивы (*Urtica sp.*). В спектрах атмосферных осадков полностью отсутствовала характерная для ледниковых проб пыльца полыни (*Artemisia sp.*), массовое цветение которой приходится на конец июля – август. Отметим также, что в палиноспектре атмосферных осадков существенная часть приходится на пыльцу сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*), хотя в ледниковых пробах отмечались лишь единичные её представители.

Обсуждение результатов

Изотопный состав ледниковых проб и атмосферных осадков позволяет получить представление об источниках влаги, поступающей в изучаемый ледниковый бассейн [20]. Дополнительным

маркером возможных источников влаги и траектории движения воздушных масс, приносящих осадки в изучаемый регион, может выступать спорово-пыльцевой состав атмосферных осадков [17]. На основе анализа региональных макроциркуляционных процессов показано, что на Алтай, расположенный в центре Евразийского материка, около 30% влаги приходит с юго-западными циклонами (источник влаги Арало-Каспийский регион), а 70% – с западным переносом и ультраполярными вторжениями (основной источник влаги – Атлантический океан) [12, 16].

При прохождении арало-каспийских и атлантических воздушных масс в глубь материка за счёт обмена с подстилающей поверхностью исходный состав атмосферной влаги (химический, изотопный и др.) изменяется, и масштаб этих изменений зависит от траектории движения воздушных масс и природно-климатических условий транзитных территорий. При этом часть спорово-пыльцевого спектра атмосферных осадков, связанная со средним и дальним переносом, может идентифицировать возможные дополнительные источники влаги на пути движения воздушных масс (существование восходящих воздушных потоков, увлекающих как водяной пар, так и споры, и пыльцу растений). Например, ранее мы установили, что временные ряды концентраций биологических объектов (диатомовых, цист, спор и пыльцы растений) в слоях ледникового керна с горы Белуха обладают хорошими прокси-данными высокого разрешения (до одного года), отражающими изменения в структуре осадков Алтайского региона [19].

В настоящей работе мы ставили перед собой, по сути, методическую задачу – обосновать возможность комплексного использования данных изотопного и споро-пыльцевого состава атмосферных осадков для изучения генезиса атмосферной влаги, поступающей в нивально-гляциальные зоны Алтая, чтобы в дальнейшем, подключая данные изотопного состава и спорово-пыльцевых спектров ледникового снега и льда, можно было оценивать как процессы аккумуляции и абляции, так и водный баланс на различных участках изучаемой территории.

За время проведения летней экспедиции (29.06.13 – 20.07.13) в районе исследования (ледниковый бассейн Корумду) осадки выпадали три раза, при этом изотопный состав атмосферных

осадков существенно отличался от изотопного состава ледниковых проб. В отобранных нами ледниковых пробах изотопные соотношения δD и $\delta^{18}O$ были очень близки: $-135,2 \div -136,0\text{‰}$ и $-18,7 \div -18,9\text{‰}$ соответственно. В атмосферных осадках изотопные соотношения для δD изменялись от $-88,5$ до $-101,2\text{‰}$, для $\delta^{18}O$ – от $-7,55$ до $-13,4\text{‰}$; наиболее тяжёлыми были осадки, отобранные 7 июля (см. рис. 2). Во всех атмосферных осадках отмечаются низкие значения d_{exc} (менее 10‰), характерные для вод, подвергавшихся испарительному фракционированию [4].

Из литературных источников известно, что изотопное соотношение $\delta^{18}O$ в годовых слоях холодного ледника Белуха (Катунский хребет, высота более 4000 м), расположенного в 100 км от тёплого ледника Корумду, за период 1900–2000 гг. варьировало от -18 до -10‰ и в среднем составляло $-12,3\text{‰}$ [15]. Таким образом, изотопный состав ледниковых проб, отобранных на языке ледника Корумду, значительно облегчён относительно слоёв ледникового ядра горы Белуха. Такое отличие, в первую очередь, может быть связано с разными условиями аккумуляции этих ледников. Основной источник влаги при формировании слоёв ледника Корумду – атмосферные осадки холодного периода года, так как летом в этом районе осадки чаще всего выпадают в виде дождя. На поверхность холодного ледника Белуха осадки в течение всего года выпадают в виде снега, поэтому его ледовые слои формируются за счёт наиболее обильных осадков тёплого (с марта по ноябрь) периода года [15]. Косвенно это предположение подтверждает, что изотопное соотношение $\delta^{18}O$ в атмосферных осадках, выпавших в ледниковом бассейне Корумду в июле 2013 г., хорошо согласуется с данными изотопного состава слоёв ледника Белуха. Ощутимое отличие изотопного состава осадков между собой (см. рис. 2) позволяет предположить, что исследуемые нами атмосферные осадки имеют разный генезис. Для подтверждения этого на все даты отбора проб осадков рассчитаны обратные траектории движения воздушных масс с помощью модели HYSPLIT [24] на высоте 500, 1500 и 3000 м (рис. 3).

Полученные обратные траектории для 7 июля 2013 г. (см. рис. 3, а) показывают, что с 3 по 7 июля наблюдалось преимущественно северо-восточное движение воздушных масс с терри-

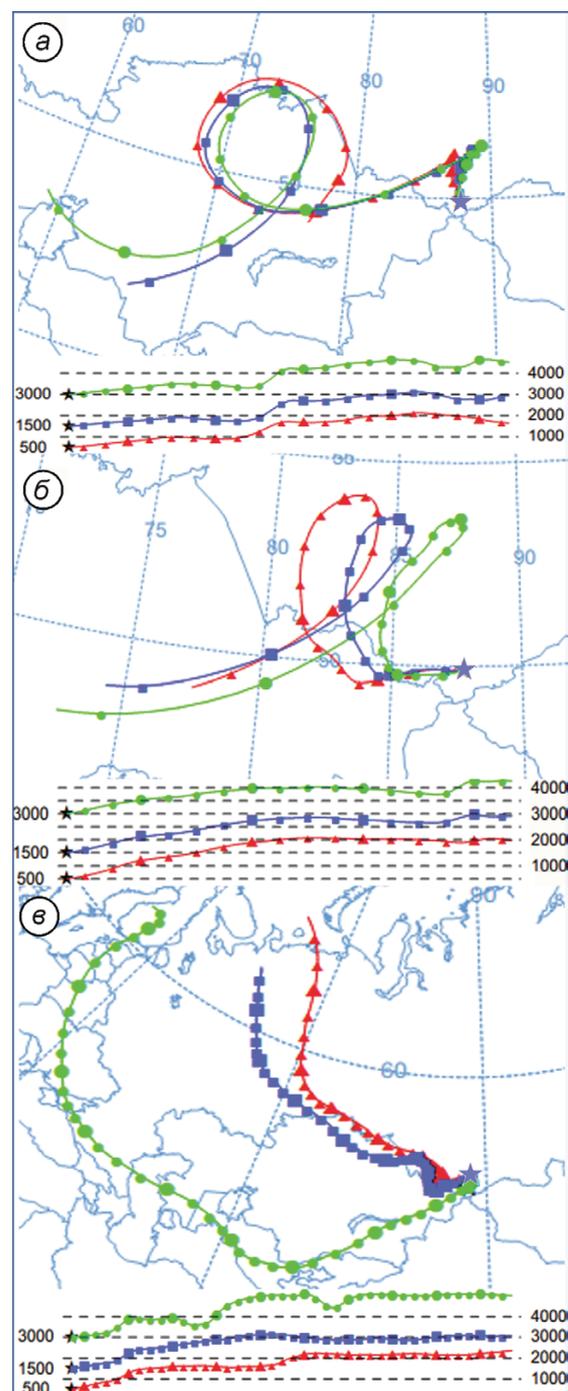


Рис. 3. Обратные траектории движения воздушных масс для 7 июля (а), 8 июля (б) и 16 июля (в) 2013 г., рассчитанные методом изобарического вертикального движения NOAA HYSPLIT MODEL [24] для высот 500 м (красная линия), 1500 м (синяя линия) и 3000 м (зелёная линия). Звёздочкой отмечено место отбора проб

Fig. 3. Backward trajectories of air masses for July 7 (a), July 8 (b) and 16 July (c) 2013 calculated by isobaric vertical motion NOAA HYSPLIT MODEL [24] for heights 500 m (red line), 1500 m (blue line) and 3000 m (green line). Sampling place is indicated by an asterisk

тории Аральского региона. При этом в районе Казахского мелкосопочника траектории воздушных масс на всех анализируемых высотах имели круговую направленность, которая вновь сменилась на исходную северо-восточную в течение полутора суток (4–5 июля 2013 г.). На территории Республики Алтай воздушные массы, встретив на своём пути довольно мощные орографические барьеры, 6 июля сменили свою направленность на южную. Анализ синоптической ситуации с привлечением данных карт барической топографии показал, что во время вихревого движения наблюдались восходящие потоки, которые подпитывали воздушные массы влагой более тяжёлого изотопного состава, источниками которой были крупные озёра, расположенные в районе Казахского мелкосопочника. Анализ траекторий, рассчитанных для 8 июля 2013 г. (см. рис. 3, б), показал схожие траектории движений воздушных масс, однако круговая направленность траекторий была чуть позже (6 и 7 июля) и уже не над территорией Казахстана, а над Алтайским краем и Республикой Алтай.

Траектории движения воздушных масс 16 июля 2013 г. (см. рис. 3, в) имели две основные линии. Первая линия проходила на высоте более 3000 м и начала свой путь в Балтийском регионе, спускаясь на юг до Чёрного моря, а затем сменила направленность на западную. Далее, встретив основные орографические барьеры Центральной Азии (в частности Тянь-Шань), воздушные массы повернули на северо-восток по направлению к Алтаю. По второй высотной линии (до 3000 м) воздушные массы шли с севера Восточно-Европейской равнины и, почти дойдя до южной оконечности Уральских гор, сменили направленность на юго-восточную. Полученные нами изотопные соотношения осадков $\delta^{18}\text{O}$ и δD , отобранных 16 июля, более облегчённые и графически наиболее близко расположены к глобальной линии метеорных вод (см. рис. 2). Следовательно, можно предположить, что воздушные массы, принёсшие осадки на территорию Алтая, продвигались преимущественно по умеренным широтам и испытывали меньшее испарительное фракционирование. Анализ синоптической ситуации, в том числе и изменения погодных условий (существенное снижение температуры и выпадение осадков), позволяет предположить, что

основная причина выпадения осадков – формирование фронта окклюзии над Алтаем при встрече тёплых юго-западных воздушных масс и холодных ультраполярных вторжений.

Структура палиноспектров ледников Алтая в значительной степени зависит от особенностей циркуляционных условий изучаемого региона, а основное количество аэрозольных выпадений на поверхность земли в данных широтах происходит с осадками [17], поэтому рассчитанные траектории движения воздушных масс, приносящих осадки, и изотопный состав этих осадков помогают идентифицировать основные источники поступления пыльцы в изучаемый ледниковый бассейн. Так, в атмосферных осадках, отобранных 16 июля 2013 г., пыльца злаковых – доминирующего компонента пыльцевого спектра – может быть как местной, так и принесённой с севера степных районов Казахстана и запада Алтайского края. Доминирующая среди хвойных пыльца сосны, вероятно, принесена из бореально-лесной зоны Урала и/или северо-востока Восточно-Европейской равнины, так как на территории Алтая сезон пыления сосны к первой декаде июня заканчивается и её поступление в атмосферу из данного региона может быть связано только с маловероятным вторичным подъёмом пыльцы в воздух. По предварительным расчётам, в начале июля 2013 г. сумма активных температур, соответствующих началу пыления *Pinus sylvestris*, наблюдалась в районе, где отмечены значительные ареалы распространения сосны обыкновенной. Отметим, что среди пыльцы древесных растений сосна имеет специфические морфологические признаки (небольшой размер – 60–100 мкм; снабжена «воздушными мешками»), которые позволяют ей легко переноситься ветром на огромные расстояния – до 3000 км [10], поэтому основным источником пыльцы сосны обыкновенной, которая выпала с осадками на поверхность ледника, может быть район г. Нарьян-Мар.

Пыльца ольховника (*Alnaster sp.*) в атмосферных осадках 16 июля 2013 г. имеет, вероятнее всего, заносное происхождение – из лесотундровой и тундровой зон Восточно-Европейской равнины, так как на этой территории цветение ольховника наступает как раз в июле, а на Алтае к этому моменту он уже отцветает и поступление его пыльцы в атмосферу, как и пыльцы сосны,

также может быть связано только со вторичным подъёмом, благоприятные условия для возникновения которого (существование восходящих воздушных потоков) в это время на территории Алтая отсутствовали. Таким образом, основываясь на результатах изотопного и спорово-пыльцевого анализов атмосферных осадков конкретных единичных событий и данных об обратных траекториях движения воздушных масс (модель HYSPLIT), можно идентифицировать источники атмосферной влаги, а также определять источники поступления и оценивать дальность переноса пыльцы тех или иных растений на исследуемую территорию.

Заключение

Исследование изотопного состава льда языка ледника Корумду и летних осадков, выпавших в его бассейне, показало, что изотопный состав льда изучаемого ледника значительно облегчён как относительно осадков, так и относительно ледовых слоёв расположенного недалеко от Корумду холодного ледника Белуха. Такое отличие, в первую очередь, можно объяснить тем, что основной источник влаги при формировании слоёв тёплого ледника Корумду — атмосферные осадки холодного периода года, в то время как аккумуляция на холодном леднике Белуха происходит весь год, в основном за счёт наиболее обильных осадков тёплого (с марта по ноябрь) периода года. Результаты изотопного и спорово-пыльцевого анализа атмосферных осадков конкретных единичных событий и данные об обратных траекториях движения воздушных масс (модель HYSPLIT) позволяют получать объективную информацию о генезисе приходящей в изучаемый регион атмосферной влаги, а также определять источники поступления и оценивать дальность переноса пыльцы тех или иных растений на исследуемую территорию. Так, по данным изотопного состава осадков, выпавших в горноледниковом бассейне ледника Корумду 16 июля 2013 г., и траектории движения воздушных масс, принёсших эти осадки на территорию Алтая, сделан вывод, что воздушные массы, начавшие свой путь в Балтике, продвигались преимущественно по умеренным широтам и подвергались незначительному изотопному фракционированию. Анализ синоптической ситуации позволяет утверж-

дать, что основной причиной выпадения осадков на изучаемой территории стало формирование фронта окклюзии над Алтаем.

Результаты спорово-пыльцевого анализа осадков дополнительно дают возможность идентифицировать источники поступления пыльцы в изучаемый регион. Например, с большой вероятностью можно предположить, что в это время район г. Нарьян-Мар служил основным источником поступления пыльцы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) в изучаемый ледниковый бассейн. При этом пыльца злаковых — доминирующего компонента пыльцевого спектра — может быть как местной, так и принесённой с севера степных районов Казахстана и запада Алтайского края, а пыльца ольховника (*Alnaster sp.*) в атмосферных осадках 16 июля 2013 г., вероятно, принесена из лесотундровой и тундровой зон Восточно-Европейской равнины.

Литература

1. Атлас Алтайского края: Т. 1. Москва—Барнаул: изд. ГУГК, 1978. 222 с.
2. Галахов В.П., Мухаметов Р.М. Ледники Алтая. Новосибирск: Наука, 1999. 136 с.
3. Дзюба О.Ф. Атлас пыльцевых зерен (неацетолитированных и ацетолитированных), наиболее часто встречающихся в воздушном бассейне Восточной Европы. М.: «Никомед», 2005. 70 с.
4. Иванова В.В. Геохимия пластовых льдов острова Новая Сибирь (Новосибирские острова, Российская Арктика) как отражение условий их генезиса // Криосфера Земли. 2012. Т. XVI. № 1. С. 56–70.
5. Кобялко Р.А., Останин О.В. Современное оледенение Центрального Алтая // Геогр. исследования молодых ученых в регионах Азии: Материалы молодежной конф. с междунар. участием, Барнаул — Белокуриха, 20–24 ноября 2012 г. / Отв. ред. О.В. Останин, Н.Ф. Харламова. Барнаул: ООО «Алтай-Циклон», 2012. С. 117–121.
6. Куминова А.В. Растительный покров Алтая. Новосибирск: СО АН СССР, 1960. 450 с.
7. Куприянова Л.А., Алешина Л.А. Пыльца и споры растений флоры европейской части СССР: Т. 1. Л.: Наука, 1972. 172 с.
8. Куприянова Л.А., Алешина Л.А. Пыльца и споры двудольных растений флоры европейской части СССР: Т. 1. Л.: Наука, 1978. 174 с.
9. Ресурсы поверхностных вод СССР: Т. 14. Вып. 1. Бассейн р. Сыр-Дарьи / Под. ред. И.А. Ильина. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 437 с.

10. Савина Л.Н., Буренина Т.А. Сохранность пыльцы лиственницы в лесных почвах и отражение состава лиственничных лесов Монголии в рецентных спектрах // Палеоботанич. исследования в лесах Северной Азии. Новосибирск: Наука, 1981. С. 62–83.
11. Токарев И.В., Поляков В.А., Самсонова А.А., Шило В.А., Толстихин Г.М., Нурбаев Т.Н., Жакеев Б.И., Шабунин А.Г., Алехина В.М. Исследование условий формирования водного баланса Токтогульского водохранилища по изотопному составу воды ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$) // Сб. науч. статей «Изучение факторов формирования и оценка влияния водохранилищ Нижнее-Нарынского каскада ГЭС на качество водных ресурсов бассейна реки Нарын изотопными методами»: Ч. 1. / Под. ред. И.В. Токарева. Бишкек: изд. МНТЦ, 2010. С. 56–86.
12. Aizen V.B., Aizen E.M., Fujita K., Nikitin S., Kreutz K., Takeuchi N. Stable-isotope time series and precipitation origin from firn cores and snow samples, Altai glaciers, Siberia // Journ. of Glaciology. 2005. V. 51. № 175. P. 637–654.
13. Andreae M.O., Rosenfeld D. Aerosol-cloud-precipitation interactions. Part 1. The nature and sources of cloud-active aerosols // Earth Sci. Rev. 2008. V. 89. P. 13–41.
14. Despres V.R., Huffman J.A., Burrows S.M., Hoose C., Safatov A.S., Buryak G., Frohlich-Nowoisky J., Elbert W., Andreae M.O., Poschl U., Jaenicke R. Primary biological aerosol particles in the atmosphere: a review // Tellus B. 2012. V. 64. 15598. doi: 10.3402/tellusb.v64i0.15598.
15. Henderson K., Laube A., Gäggeler H.W., Olivier S., Papina T., Schwikowski M. Temporal variations of accumulation and temperature during the past two centuries from Belukha ice core, Siberian Altai // Journ. Geophys. Research. 2006. V. 111. D03104. doi: 10.1029/2005JD005819.
16. Malygina N., Papina T. Investigation of atmospheric circulation patterns and precipitation variability for interpretation of the Altai ice core records // DACA-2013, Davos (Switzerland), 7–12 June 2013 [http://www.daca-13.org/wsl/daca13/program/DACA-13_Abstract_Proceedings.pdf]
17. Papina T., Blyakharchuk T., Eichler A., Malygina N., Mitrofanova E., Schwikowski M. Biological proxies recorded in a Belukha ice core, Russian Altai // Climate of the Past. 2013. V. 9. P. 2399–2411. doi: 10.5194/cp-9-2399-2013.
18. Poschl U., Martin S.T., Sinha B., Chen Q., Gunthe S.S., Huffman J.A., Borrmann S., Farmer D.K., Garland R.M., Helas G., Jimenez J.L., King S.M., Manzi A., Mikhailov E., Pauliquevis T., Petters M.D., Prenni A.J., Roldin P., Rose D., Schneider J., Su H., Zorn S.R., Artaxo P., Andreae M.O. Rainforest aerosols as biogenic nuclei of clouds and precipitation in the Amazon // Science. 2010. V. 329. P. 1513–1516.
19. Prenni A.J., Petters M.D., Kreidenweis S.M., Heald C.L., Martin S.T., Artaxo P., Garland R.M., Wollny A.G., Pöschl U. Relative roles of biogenic emissions and Saharan dust as ice nuclei in the Amazon basin // Nat. Geosci. 2009. V. 2. P. 401–404.
20. Principles and Applications. V. 2: Atmospheric Water / Eds. Joel R. Gat, Willem G. Mook, Harro A.J. Meijer [http://www-naweb.iaea.org/napc/ih/documents/global_cycle/Environmental%20Isotopes%20in%20the%20Hydrological%20Cycle%20Vol%202.pdf].
21. http://isohis.iaea.org/
22. http://meteoinfo.ru
23. http://nsidc.org/
24. http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php/

Summary

The article presents the results of a study of the isotopic composition and pollen spectra of the edge part of glacier Korumdu (North Chu ridge, Altai Mountains), as well as atmospheric precipitation, in order to identify the sources and path of precipitation in the nival-glacial region of Altai. It is shown that the results of isotopic and pollen analysis of atmospheric precipitation (single events) and backward trajectories of air masses (model HYSPLIT) allow to obtain objective information about the genesis of atmospheric moisture coming in the Altai region, as well as to determine the sources of pollen in the study area. Thus, according to the isotopic composition of the precipitation which has dropped out in the basin of glacier Korumdu on July 16, 2013, and a trajectory of the air masses which have brought this precipitation on Altai territory it's possible to conclude that air masses formed in the Baltic Sea and moved ahead mainly on midlatitudes were exposed to insignificant isotope fractionation. Additionally the results of palynological analysis of precipitation allow us to identify sources of pollen in the studied region. With high probability we can assume that on July 16, 2013 the main sources of pollen in Altai precipitation were: the Naryan-Mar area for Scots pine (*Pinus sylvestris*) pollen, tundra zones of the East European Plain for alder (*Alnus sp.*) pollen and the steppe regions of Kazakhstan and west Altai for pollen grains – the dominant component of the pollen spectrum.