

Изотопно-геохимические исследования нивально-гляциальных систем горного массива Табын-Богдо-Ола (Западная Монголия)

© 2016 г. Д.В. Банцев^{1*}, Д.А. Ганюшкин¹, А.А. Екайкин^{1,2}, К.В. Чистяков¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет;

²Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург

^{1*}bancev-d@yandex.ru

Isotope-geochemical investigation of glacio-nival systems of the Tabyn-Bogdo-Ola mountain massif (Western Mongolia)

D.V. Bantsev^{1*}, D.A. Ganyushkin¹, A.A. Ekaykin^{1,2}, K.V. Chistyakov¹

¹Saint-Petersburg state university, St. Petersburg, Russia; ²Arctic and Antarctic research institute, St. Petersburg, Russia

^{1*}bancev-d@yandex.ru

Article accepted for publication on December 31, 2015

Keywords: *accumulation estimation, glacier runoff, isotope-geochemical investigation, Tabyn Bogdo mountain massif.*

Summary

Results of investigation of glacio-nival systems made in the Tabyn-Bogdo-Ola mountains (Western Mongolia) are presented in the paper. Average content of $\delta^{18}\text{O}$ in the Tsagan-Us river water amounts to 17.44‰ that is almost equal to the isotope content in the clear glacier runoff near the edge of the Kozlov Glacier (–17.43‰). It means that the isotope content in water doesn't significantly change over a distance of 30 km along the Tsagan-Us river. Hence, it appears that for this distance the river has no additional non-glacial feed. The magnitude 17.4±0.1‰ can be considered as the average content of isotopes in the glacio-nival system in the Tabyn-Bogdo-Ola mountain massif. This value can also be the precipitation-weighted average isotope content in the solid precipitations which are accumulated in glaciers of this massif. Seasonal isotope fluctuations are partly preserved in the snow-firn mass in the accumulation area of the Kozlov Glacier. A rate of annual accumulation was estimated by multiplying the apparent thickness (160 cm) of an annual layer into the snow density. According to our observations, it is equal to 800 mm w.e./year during 2013–2014. Accumulation is increased due to the wind and avalanche transportation of snow. During the ablation season, summer and spring snowfalls over the Kozlov Glacier area melt. Thus, it is possible to suppose that the autumn snowfalls play the important role in the accumulation. We may also suppose that the main source of the moisture for the Tabyn-Bogdo-Ola massif is located somewhere in the Inner Asia.

Статья принята к печати 31 декабря 2015 г.

Ключевые слова: *изотопно-геохимические исследования, ледниковый сток, массив Табын-Богдо-Ола, оценка аккумуляции.*

По результатам полевых работ 2013 и 2014 г. выполнен анализ изотопных характеристик образцов речной воды, снега и осадков. Оценена степень сохранности сезонного изотопного сигнала в снежно-фирновой толще, а также показана возможность использования изотопно-геохимического метода в гидрологических исследованиях. В области питания ледника Козлова получены оценки годовой аккумуляции в 800 мм. в.э. Показано, что основной источник осадков, питающих массив, – Внутренняя Азия.

Введение

Изотопно-геохимические исследования производились в 2013 и 2014 г. на территории массива Табын-Богдо-Ола (северо-запад Монголии) экспедициями Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ). Названный массив расположен на стыках хребтов Русского и Монгольского Алтая и представляет собой крупный центр современного оледенения, который изучается географами СПбГУ на протяжении последних 16 лет [4, 6, 8, 11]. Ледники массива играют значительную роль в пи-

тании рек северо-запада Монголии. Основные исследования проводили в долинах рек Цаган-Ус и Цаган-Гол на территории Монголии. Особое внимание уделялось крупному и недостаточно изученному леднику Козлова, питающему р. Цаган-Ус (рис. 1).

Цель исследования – дать оценку динамики нивально-гляциальных систем, используя изотопный метод. Изотопный состав атмосферных осадков и природных вод представляет собой одну из важных комплексных характеристик атмо- и гидросферы. Он позволяет изучать их современное состояние и эволюцию, выполнить

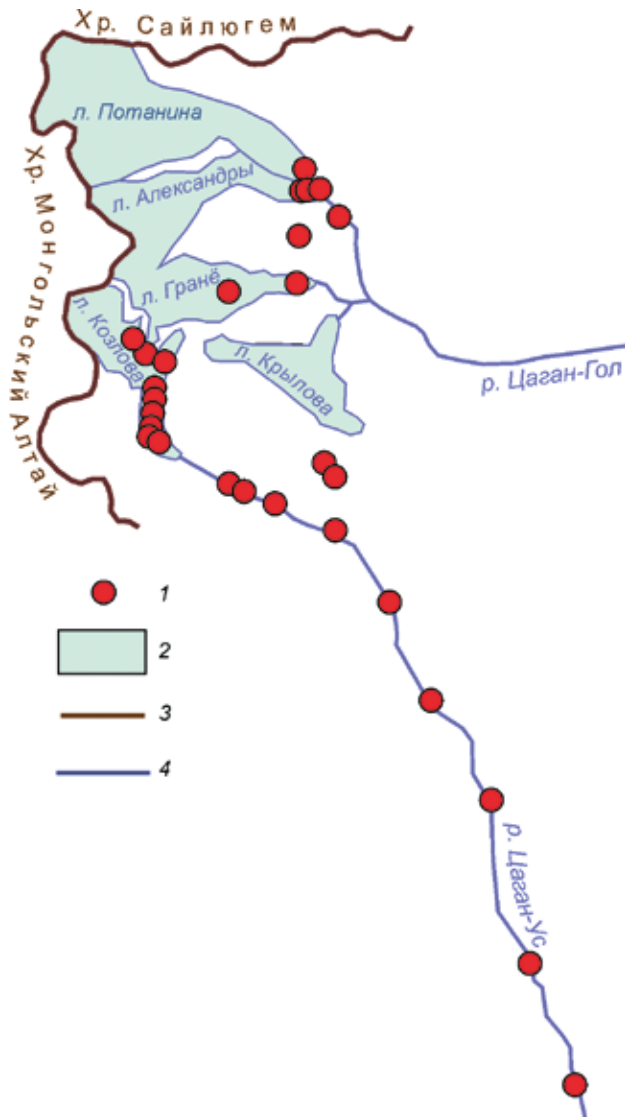


Рис. 1. Карта-схема района исследования:
1 – точки отбора образцов; 2 – ледники; 3 – горные хребты; 4 – реки

Fig. 1. Map of the research area:
1 – points of sampling; 2 – glaciers; 3 – ridges; 4 – rivers

прогнозы, проводить масс-балансовые исследования объектов гидросферы, оценивать водные запасы, в том числе на территориях, проблемных с этой точки зрения. Юго-Восточный Алтай недостаточно полно исследован в этом плане. Более того, ближайшие метеостанции, где организован сбор осадков для анализа их изотопного состава (Новосибирск, Омск, Урумчи), находятся на расстоянии более 600 км от района работ. Основные объекты изотопных исследований – осадки, речная вода и снежно-фирновая толща в области аккумуляции ледника Козлова.

Методика исследования

Изотопные характеристики (δD и $\delta^{18}O$) определялись в различных элементах нивально-гляциальных систем. За два года отобрано более 150 проб воды. Максимальное число проб взято из снежно-фирновых шурфов, пройденных в области аккумуляции ледника Козлова. Образцы талых вод отбирались непосредственно у края ледника и по течению реки. Пробы атмосферных осадков брали практически сразу после их выпадения. Всего отобрано: 104 пробы снега и фирна, 16 проб льда, 14 проб осадков, 23 пробы из водоёмов. Образцы отбирались в пробирки ёмкостью 50 мл. Все пробы хранились и транспортировались в расплавленном виде. Изотопный состав анализировали в Лаборатории изменения климата и окружающей среды АНИИ на газовом анализаторе Picarro L2120i. Через каждые пять образцов измеряли рабочий стандарт, который представлял собой дистиллированную водопроводную воду Санкт-Петербурга со следующими характеристиками: $-9,79\text{‰}$ по $\delta^{18}O$ и $-75,47\text{‰}$ по δD относительно стандарта МАГАТЭ «V-SMOW2». В результате анализа для каждого образца, за исключением нескольких потерянных в процессе транспортировки, были определены парные изотопные характеристики $\delta^{18}O$ и δD . Воспроизводимость измерений составила $0,05\text{‰}$ для $\delta^{18}O$ и $0,5\text{‰}$ для δD , что удовлетворительно для целей настоящего исследования.

Исследования талых ледниковых вод

Одна из задач исследования – изучение изменения изотопного состава воды в ледниковой реке по мере удаления от источника питания. Ледник сложен льдом, снегом и фирном атмосферного происхождения, поэтому средний изотопный состав ледника соответствует среднему взвешенному изотопному составу осадков. Так как талые воды формируются путём таяния ледникового льда, фирна и снега на поверхности ледника, изотопный состав талых ледниковых вод сопоставим с изотопным составом этих составляющих ледника, осреднённым за время его жизни, а также (при условии неизменности климата) он приближен к изотопному составу ледникового льда. По мере удаления от ледника и

в пространстве, и во времени изотопный состав речной воды начинает изменяться под влиянием других факторов, среди которых – осадки, грунтовые воды и испарение.

Расчёты доли талых ледниковых вод в речном стоке с помощью изотопного метода основываются на различиях в изотопном составе воды из разных источников (талые ледниковые воды, подземные воды, осадки). Таким образом, зная изотопный состав талых вод и его изменение по мере течения водотока, можно рассчитать вклад ледниковых вод в питание реки. Отметим, что первоначальной задачей исследования талых ледниковых вод на массиве Табын-Богдо-Ола был не точный расчёт ледникового стока, а апробирование использования изотопного метода при изучении водотоков аридных высокогорий Центральной Азии.

Исследования стабильных изотопов при изучении гидрологических циклов в настоящее время широко распространены. Например, подобные исследования выполнялись в Гималаях, в бассейне р. Лангтанг. Разница в изотопном составе талой и грунтовой воды оценена более чем в 2,5‰. В результате была сделана оценка влияния грунтовых вод на общий сток реки [15].

Для исследования изменения изотопного состава талых ледниковых вод на массиве Табын-Богдо-Ола отобрано десять образцов речной воды из р. Цаган-Ус, которая берёт свое начало от конца крупного долинного ледника Козлова. Длина исследуемого профиля составила 31 км, отсчёт вели от конца ледника Козлова (рис. 2). Образцы отбирали в течение двух суток по мере движения по долине реки к концу ледника. Изотопный состав речной воды по мере удаления на 30 км от основного источника питания не претерпевает больших изменений: значения $\delta^{18}\text{O}$ варьируют от $-17,8$ до $-17,1$ ‰. Среднее значение $\delta^{18}\text{O}$ образцов профиля равно $-17,4$ ‰. Величина $\delta^{18}\text{O}$ чистой ледниковой воды, отобранной у самого края ледника Козлова, равна $-17,4$ и $-17,5$ ‰ (повторная проба). Среднее значение $\delta^{18}\text{O}$ талых ледниковых вод ледника Козлова в сезон абляции составляет $-17,45$ ‰.

Для более точного определения среднего изотопного состава талых вод были отобраны пробы воды у краёв других ледников массива, как крупных долинных, так и небольших каровых. Полученный средний состав талых ледниковых вод

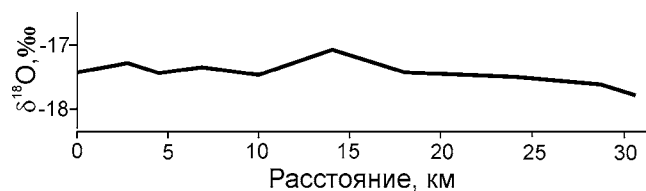


Рис. 2. Изменения изотопного состава воды вдоль течения р. Цаган-Ус.

Fig. 2. Isotope fluctuations of water in the Tsagan-Us river

равен $-17,36$ ‰ по $\delta^{18}\text{O}$ и приблизительно равен среднему составу воды р. Цаган-Ус и изотопному составу талой воды из ледника Козлова. Если рассчитать среднее $\delta^{18}\text{O}$ для всех образцов из водотоков (20 проб) монгольской части массива Табын-Богдо-Ола, то оно составляет $-17,4$ ‰, что также близко к приведённым здесь средним значениям изотопного состава воды в р. Цаган-Ус и талых чисто ледниковых вод.

Исследования снежно-фирновой толщи

Основная задача исследований снежно-фирновой толщи – оценка степени сохранности сезонного изотопного сигнала в условиях таяния как в сезон абляции, так и в сезон аккумуляции. Изменения изотопных характеристик образцов снега и фирна, отобранных в шурфе, позволяют получить информацию об аккумуляции и происхождении осадков, питающих ледник. Исследования проводились на долинном леднике Козлова. Абсолютная высота конца ледника составляет 2640 м, граница питания в августе 2013 г. находилась на высоте 3200 м. Площадь данного ледника в 2013 г. оценена в 8,8 км² [7].

В 2014 г. для изучения распределения концентраций стабильных изотопов в области аккумуляции ледника Козлова на высоте 3400 м на расстоянии около 300 м друг от друга было пройдено два снежно-фирновых шурфа глубиной 2,6 и 1,6 м, в которых через каждые 5 см отбирались образцы. Место отбора представляло собой большой цирк, в котором интенсивно аккумулируются атмосферные осадки. Шурфы были заложены в конце сезона абляции. Следов лавинной аккумуляции в местах их заложения не обнаружено. В данном месте периодически наблюдаются положительные температуры и происходит таяние снега и фирна. Практически по

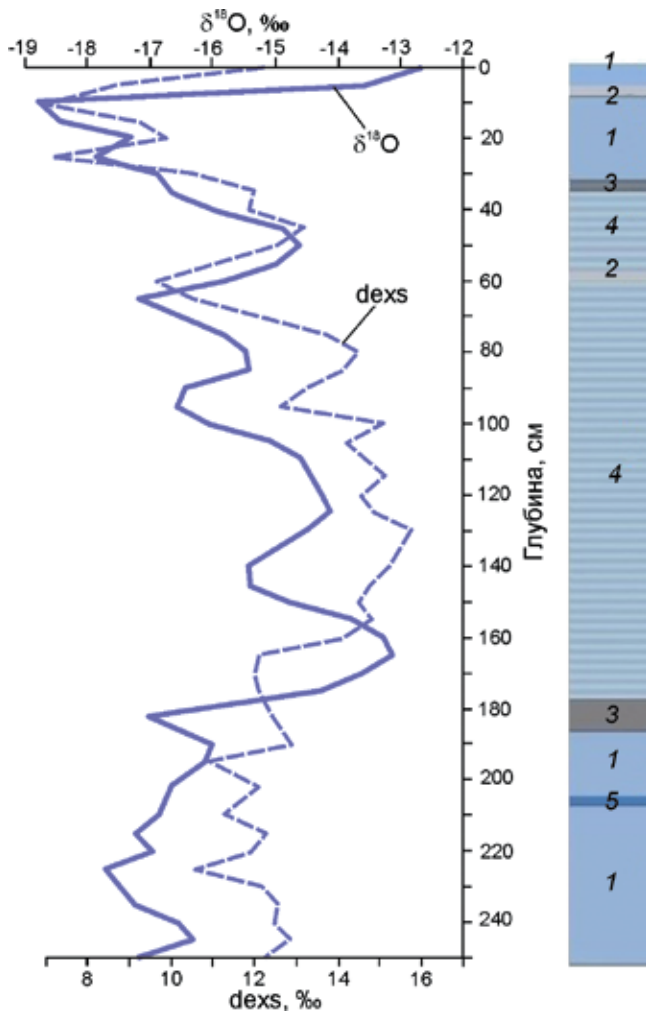


Рис. 3. Распределение значений $\delta^{18}\text{O}$ и эксцесса дейтерия (dexs) в области аккумуляции ледника Козлова (шурф № 1):

1 – фирн; 2 – фирн с горизонтальными и вертикальными прослойками «серого» инфильтрационного льда; 3 – фирн со слоями «серого» инфильтрационного льда; 4 – слой «серого» инфильтрационного льда; 5 – слой «голубого» режелационного льда

Fig. 3. Distribution of $\delta^{18}\text{O}$ values and deuterium excess (dexs) values in the accumulation area of Kozlov Glacier (snow-pit № 1):

1 – firn; 2 – firn with horizontal and vertical lenticles of grey infiltration ice; 3 – firn with layers of grey ice; 4 – layer of grey infiltration ice; 5 – layer of blue regelation ice

всей глубине шурфа № 1 прослеживаются и горизонтальные, и вертикальные прослойки серого инфильтрационного льда, что свидетельствует об инфильтрации талых вод в снежно-фирновую толщу (рис. 3) Подобные условия неблагоприятны для изотопно-геохимических исследований, так как из-за периодического таяния

может происходить гомогенизация изотопного состава, стирающая сезонный сигнал [2]. В условиях положительных температур происходят также изменения изотопного состава в результате постдепозиционных изменений при контакте атмосферы с водяным паром [5]. Однако, как видно из результатов лабораторных измерений (см. рис. 3), вариации изотопного состава во многом сохраняются, что свидетельствует о частичном сохранении сезонного изотопного сигнала, несмотря на неблагоприятные условия. Коэффициент корреляции между значениями $\delta^{18}\text{O}$ фирна по глубине в двух шурфах довольно высок и равняется 0,77. Это показывает, что вариации изотопного состава снежно-фирновой толщи не случайны и характерны для упомянутой области аккумуляции. Среднее значение $\delta^{18}\text{O}$ по шурфам составляет $-15,8\text{‰}$ для шурфа № 1 и $-16,7\text{‰}$ для шурфа № 2.

На рис. 4 показаны зависимости между $\delta^{18}\text{O}$ и δD для разных групп образцов. Данных об изотопном составе атмосферных осадков для этого района нет, и в настоящий момент невозможно наладить постоянный отбор осадков на изотопный анализ на метеостанциях. Как уже отмечалось, ближайшие действующие метеостанции находятся на большом удалении от района исследования, что осложняет проведение изотопных исследований. Некоторая информация об изотопном составе осадков получена путём непосредственного отбора образцов в короткий период экспедиционных работ. Отметим, что изотопные исследования ледяного керна в горном массиве Цамбагарав (120 км к юго-востоку от массива Табын-Богдо-Ола) показали, что для последних 200 лет характерны относительно влажные условия [12].

Максимальный диапазон значений $\delta^{18}\text{O}$ характерен для образцов атмосферных осадков, несмотря на их небольшое число и отбор только в летние месяцы. Поскольку осадки отбирались в тёплый период, преобладали образцы с тяжёлым изотопным составом. Диапазон $\delta^{18}\text{O}$ и δD в фирне меньше, чем в осадках, образцы которых отбирали сразу после их выпадения, что обусловлено осреднением изотопного состава в результате различных процессов в снежно-фирновой толще. Наименьшие вариации значений изотопного состава наблюдаются в образцах речной воды. Это объясняется тем, что изо-

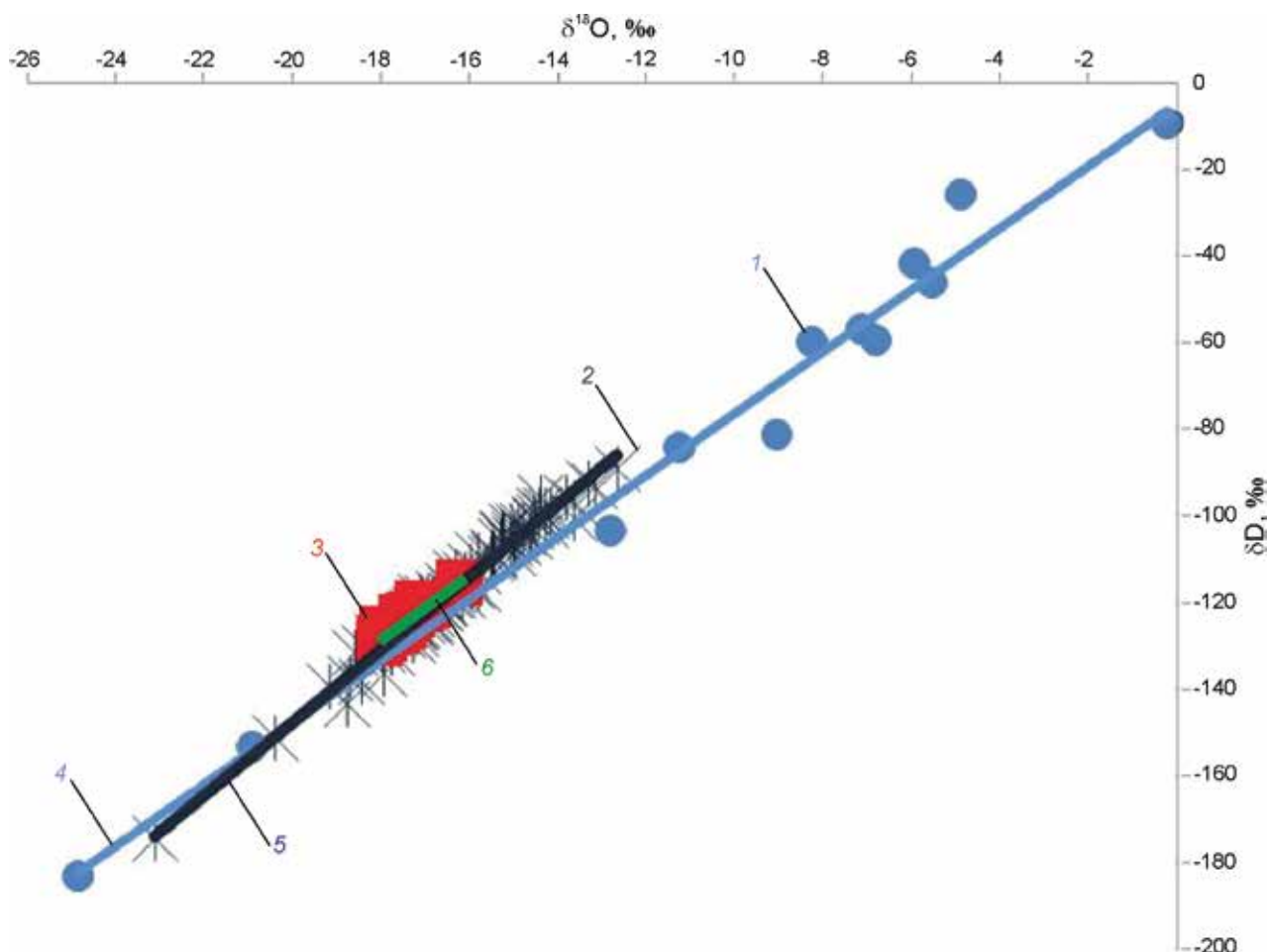


Рис. 4. Зависимость между $\delta^{18}\text{O}$ и δD по группам образцов:

1 – осадки; 2 – фирн; 3 – речная вода; 4 – линейная зависимость для образцов осадков ($\delta\text{D} = 7,1\delta^{18}\text{O} - 5$); 5 – линейная зависимость для образцов фирна ($\delta\text{D} = 8,4\delta^{18}\text{O} + 20,6$); 6 – линейная зависимость для образцов речной воды ($\delta\text{D} = 7,5\delta^{18}\text{O} + 6,8$)

Fig. 4. Relations between $\delta^{18}\text{O}$ and δD for the groups of the samples:

1 – precipitation; 2 – firn; 3 – river water; 4 – linear dependence for the samples of precipitation ($\delta\text{D} = 7.1\delta^{18}\text{O} - 5$); 5 – linear dependence for the samples of firn ($\delta\text{D} = 8.4\delta^{18}\text{O} + 20.6$); 6 – linear dependence for the samples of river water ($\delta\text{D} = 7.5\delta^{18}\text{O} + 6.8$)

топный состав ледниковых вод также отражает средний изотопный состав осадков, накапливающихся в ледниках.

Дискуссия

Непосредственные полевые наблюдения и анализ космических снимков подтвердили наличие значительного числа небольших ледников и снежников на склонах долины Цаган-Ус. Общая площадь водосборного бассейна исследуемого участка р. Цаган-Ус оценена в 370 км^2 , а площадь ледников в долине Цаган-Ус – в 53 км^2 [7]. По данным ближайшей метеостанции в г. Ховд

(абсолютная высота 1500 м), во внутригодовом распределении преобладают летние осадки, их доля составляет 80% [14].

Изотопный состав речной воды р. Цаган-Ус практически не изменяется на протяжении 30 км от ледника Козлова, несмотря на большое число притоков и отбор проб в сезон максимума атмосферных осадков. Исходя из анализа изотопного состава речной воды и талых вод, очевидно, что на протяжении первых 30 км от ледника поступлений воды из неледниковых источников недостаточно для изменения общего изотопного состава, а следовательно, их влияние невелико. Это связано с тем, что большинство притоков также представляют

собой потоки изотопно лёгкой талой ледниковой воды, что подтверждено дополнительными изотопными анализами.

Изотопный состав воды из притоков по $\delta^{18}\text{O}$ изменяется в диапазоне от $-17,4$ до $-17,9\text{‰}$. Поскольку ледники образуются путём накопления атмосферных осадков, а изотопный состав талой воды подобен изотопному составу льда, то средний состав ледниковых вод с определённой долей условности принимается за средний взвешенный изотопный состав осадков в районе исследования. Следовательно, значения $\delta^{18}\text{O}$ в диапазоне от $-17,3$ до $-17,5\text{‰}$ соответствуют среднему изотопному составу нивально-гляциальной системы массива и среднему изотопному составу накапливающихся осадков.

В изотопном составе снега и фирна прослеживаются сезонные колебания. На рис. 3 видно, что в верхней части шурфа присутствует изотопно тяжёлый снег летних снегопадов 2014 г., а ниже — изотопно лёгкий снег предположительно зимы—весны 2014 г. Следующий слой изотопно тяжёлого фирна наблюдается лишь на глубине 155—175 см. Далее в стратиграфии шурфа прослеживается прослойка серого инфильтрационного льда толщиной от 5 до 9 см. Возможно, данный лёд сформировался в сезон абляции 2013 г. и представляет собой смесь осадков разных сезонов, поскольку он имеет $\delta^{18}\text{O}$ равное $-17,05\text{‰}$, что близко к средней величине $\delta^{18}\text{O}$ накапливаемых осадков, определённой путём анализа изотопного состава талых вод.

Измерения плотности проводились в верхней части шурфа. Средняя плотность в верхних 50 см составляла $0,5 \text{ г/см}^3$. В нижней части шурфа плотность явно увеличивалась, но инструментальных замеров не было. Таким образом, годовое накопление в данной части области аккумуляции за 2013—2014 гг. приблизительно равняется 160 см фирна, что в пересчёте на водный эквивалент при наблюдаемой в шурфах плотности фирна составляет около 800 мм. Полученные данные об аккумуляции соответствуют среднему годовому количеству осадков на границе питания, оценённому по расчётам с использованием коэффициента концентрации 1,4 в 785 мм [7]. По другим данным, где в основу оценки взяты расчёты среднего количества осадков на фирновой линии на основе полученного по данным метеостан-

ций (Баян-Олгий, Бертек, Джазатор) местного высотного плювиометрического градиента, для восточного подветренного склона массива Таван-Богдо-Ола годовое количество осадков на уровне фирновой линии составляет около 400 мм и не более 800 мм — в предвершинной части [3]. В этом случае полученные нами значения аккумуляции соответствуют коэффициенту концентрации около 1,5—2, что, с учётом подветренного положения ледников восточного склона массива и расположения области аккумуляции в цирке, вероятно, обусловлено повышенной концентрацией снега в результате метелевого и лавинного переноса и вполне соответствует значениям, полученным для долинных ледников горного массива Монгун-Тайга на основе расчётов по методике Глазырина [3].

В последние годы годовое накопление осадков оценивалось в области аккумуляции другого крупного в массиве ледника Потанина — в рамках совместных японско-монгольских исследований с использованием палинологического метода. По данным этих исследований, годовая аккумуляция в области питания варьирует от 610 до 1380 мм в зависимости от года и места заложения шурфа. Из исследуемых шурфов отбирались пробы на изотопный анализ ($\delta^{18}\text{O}$). Авторы также отмечают сохранение сезонного изотопного сигнала в некоторых шурфах [13].

В шурфе № 2, заложенном нами на неделю позже шурфа № 1, «тяжёлого» снега тёплого сезона в верхней части шурфа уже не оказалось. В верхней части шурфа залегает изотопно лёгкий снег холодного сезона. Возможно, что в данной части области питания летние снегопады не участвуют в формировании изотопного состава снежно-фирновой толщи, так как за период абляции эти осадки успевают полностью стаять или испариться. Изотопно тяжёлый фирн, скорее всего, образовался из осадков ранней осени. Ввиду меньшей глубины шурф № 2 не затрагивает весь годовой слой, но в нижней части шурфа прослеживается утяжеление изотопного состава.

Помимо $\delta^{18}\text{O}$, в изучении снежно-фирновых толщ горных ледников большое значение имеют вариации эксцесса дейтерия, который указывает на источник происхождения осадков. Эксцесс дейтерия, или dexs , рассчитывается исходя из парных изотопных характеристик (δD и $\delta^{18}\text{O}$) для каждого образца по формуле

$d_{\text{exs}} = \delta D - 8\delta^{18}\text{O}$ [2]. Подобные исследования эксцесса дейтерия снежно-фирновой толщи проводились В. Айзенем на плато горы Белуха (Горный Алтай, Катунский хребет) [10]. Авторы исследования определили особенности сезонной вариации d_{exs} в осадках, аккумулирующихся на ледниках в данном районе. Общая особенность изменения d_{exs} осадков в течение года – уменьшение в летний сезон и увеличение зимой. Исследования снежно-фирновой толщи, накопившейся на плато Белухи за 2001–2002 гг., подтвердили эту тенденцию [10]. Обратная картина наблюдается в области аккумуляции ледника Федченко (Памир), где из-за особенностей циркуляции эксцесс дейтерия возрастает летом и уменьшается зимой, что связано с преобладанием там в зимнее время осадков, принесённых западными циклонами с Атлантики [9]. Согласно В. Айзену, образцы с d_{exs} выше 12‰ относятся к внутриазиатским осадкам, а с d_{exs} от 6 до 12‰ – к осадкам западного переноса. Пробы с d_{exs} меньше 6‰ связаны с осадками из воздушных масс, принесённых арктическими вторжениями и муссонами [10].

Из рис. 2 и 3 видно, что для обоих шурфов характерны очень высокие значения d_{exs} . Большинство проб имеет этот показатель выше 12‰. При этом максимальные значения эксцесса дейтерия наблюдаются в слоях изотопно тяжёлого снега, а минимальные, наоборот, соответствуют в основном изотопно лёгким слоям. Исходя из этого, можно предположить, что основным источником осадков для питания ледников массива Табын-Богдо-Ола служат местные воздушные массы из Центральной Азии, значение которых несколько меньше летом, когда регион оказывается на границе взаимодействия ослабленных западных, муссонных и арктических атмосферных потоков. Такие же выводы сделаны по результатам изотопных исследований ледяного ядра с горы Цаст (120 км к юго-востоку от Табын-Богдо-Ола) [14]. В отличие от плато Белухи, летние осадки играют гораздо меньшую роль в аккумуляции на леднике Козлова, поскольку, как уже отмечалось, их относительно немного и за лето они успевают стаять или испариться. Средний эксцесс дейтерия среди отобранных летом образцов атмосферных осадков составляет 4,5‰, а значения его по шурфам гораздо выше.

Заключение

В результате двухлетних экспедиционных работ получены данные о вариациях изотопного состава в различных объектах нивально-гляциальных систем. Проанализированы изменения изотопного состава вод р. Цаган-Ус по мере удаления от основного источника питания. Показано, что на отрезке первых 30 км р. Цаган-Ус от истока у ледника Козлова преобладает вода с изотопным составом, равным изотопному составу талых ледниковых вод. Это показывает большое влияние в летнее время талых ледниковых вод на общий сток реки на данном её участке. В снежно-фирновой толще в области аккумуляции изотопный сигнал в основном сохраняет сезонные вариации, несмотря на препятствующие этому условия – положительные температуры и, как следствие, частичное протаивание снежно-фирновой толщи.

По распределению тяжёлых изотопов выполнена оценка годовой аккумуляции осадков в нижней части области питания ледника Козлова, составившая около 800 мм водного эквивалента. Установлено, что летние осадки играют незначительную роль в питании ледника Козлова. Изотопный состав снега и фирна (эксцесс дейтерия) показывает, что в массиве Табын-Богдо-Ола источником влаги для пополнения массы ледников служат воздушные массы из Центральной Азии.

Весьма важно продолжить исследования горных рек и аккумуляции изотопными методами на высокогорных массивах Юго-Восточного Алтая. Для получения более объективных результатов следует усилить исследования изотопного состава атмосферных осадков, которые здесь ранее практически не проводились. Пока в исследованиях высокогорий Табын-Богдо-Ола почти не затронута такая область применения изотопно-геохимического метода, как исследование погребённых льдов и каменно-ледяных образований. Возможность применения данного метода в подобных исследованиях описана Ю.К. Васильчуком [1]. Исследования изотопного состава каменно-ледяных образований может дать информацию об их генезисе и климатических условиях прошлого.

Благодарности. Авторы выражают благодарность за помощь в сборе образцов Арине Николаевне Верес.

Литература

1. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К. Геохимия стабильных изотопов природных льдов. М.: Изд-во МГУ, 2011. 228 с.
2. Васильчук Ю.К., Котляков В.М. Основы изотопной геокриологии и гляциологии. М.: Изд-во МГУ, 2000. 616 с.
3. Ганюшкин Д.А. Гляциогенные комплексы резко-континентального района северо-запада Внутренней Азии: Дис. на соиск. уч. степ. д-ра геогр. наук. Санкт-Петербург: СПбГУ, 2015. 429 с.
4. Екайкин А.А., Липенков В.Я., Хондо Т., Сократова И.Н. Лабораторные эксперименты по изучению изменений изотопного состава отложенного снега: методика и предварительные результаты // Лёд и Снег. 2010. № 3 (111). С. 37–46.
5. Москаленко И.Г., Ганюшкин Д.А., Чистяков К.В. Современное и древнее оледенение северного склона массива Таван-Богдо-Ола // Лёд и Снег. 2013. № 3 (123). С. 33–44.
6. Селиверстов Ю.П., Москаленко И.Г., Чистяков К.В. Оледенение северного склона массива Таван-Богдо-Ола и его динамика // Изв. РГО. 2003. Т. 135. № 5. С. 1–16.
7. Сыромятина М.В., Курочкин Ю.Н., Чистяков К.В., Аюрзана Ч. Современное состояние и изменения ледников горного массива Табын-Богдо-Ола (Монголия) // Лёд и Снег. 2014. № 3 (127). С. 31–38.
8. Чистяков К.В., Ганюшкин Д.А., Курочкин Ю.Н. Современное состояние и динамика нивально-гляциальных систем массивов Таван-Богдо-Ола и Монгунтайга // Лёд и Снег. 2015. № 1 (129). С. 49–60.
9. Aizen V., Aizen E. Stable-isotope time series and precipitation origin from firn-core and snow samples, Altai glaciers, Siberia // Journ. of Glaciology. 2005. V. 51. № 175. P. 637–654.
10. Aizen V., Aizen E. Stable-isotope and trace element time series from Fedchenko Glacier (Pamirs) snow-firn cores // Journ. of Glaciology. 2009. V. 55. № 190. P. 275–291.
11. Chistyakov K.V., Ganyushkin D.A., Moskalenko I.G. The glacier complexes of the mountain massifs of the north-west of Inner Asia and their dynamics // Geography. Environment. Sustainability. 2011. V. 4. № 2. P. 4–21.
12. Herren P.A., Eichler A., Machguth H., Papina T., Tobler L., Zapf A., Schwikowski M. The onset of Neoglaciation 6000 years ago in western Mongolia revealed by an ice core from the Tsambagarav mountain range // Quaternary Science Reviews. 2013. № 69. P. 59–68.
13. Nakazawa F., Konya K., Kadota T., Ohata T. Reconstruction of the depositional environment upstream of Potanin Glacier, Mongolian Altai, from pollen analysis // Environmental Research Letters. 2012. V. 7. № 3. P. 1–6.
14. Schotterer U., Fröhlich K., Gäggeler H.W., Sandjordi S., Stichler W. Isotope research from mongolian and alpine ice cores as climate indicators // Climate Change. 1997. № 36. P. 519–530.
15. Willson A.M., Williams M.W., Kayastha R.B. Using hydrochemistry data to constrain the role of snow and ice meltwater in the Langtang Valley, Nepal // Western Snow Conference. Durango. Colorado, 2014. P. 155–158.