

shelf and their possible relationship to decomposing methane gas hydrates // Geophysical Research Letters. – 2007. – V. 34, № 1.

14. Judd A.G., Hovland M., Dimitrov L.I. et al. The geological methane budget at Continental Margins and its influence on climate change // Geofluids. – 2002. – № 2. – P. 109–122.

15. Анфилатова Э.А. Аналитический обзор современных зарубежных данных по проблеме распространения газогидратов в акваториях ми-

ра // Нефтегазовая геология. Теория и практика. Т.3, №4. [http://www.ngtp.ru/9/44\\_2008.pdf](http://www.ngtp.ru/9/44_2008.pdf).

16. Шахова Н.Е., Юсупов В.А., Салюк А.Н. и др. Антропогенный фактор и эмиссия метана на Восточно-Сибирском шельфе // ДАН. – 2009. – Т. 429, № 3. – С. 398–401.

17. Гаврилова М.К. Районирование (зонирование) Севера Российской Федерации // Районирование (зонирование) Севера Российской Федерации. – Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН, 2007. – С. 64–98.

Поступила в редакцию 12.03.2015

УДК 551.464.6.027:551.322

## Изотопный состав атмосферных осадков и снежного покрова в г. Якутске

Н.С. Малыгина\*, Т.С. Папина\*, А.Н. Эйрих\*, А.Ф. Жирков\*\*, М.Н. Железняк\*\*

\*Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул

\*\*Институт мерзлотоведения СО РАН, г. Якутск

Приводятся данные изотопного состава атмосферных осадков и снежного покрова в районе г. Якутска в зимний период 2013–2014 гг. Полученные результаты согласуются с опубликованными средними значениями изотопного состава атмосферных осадков для зимнего сезона 2000/2001 г. Совокупное использование результатов изотопного анализа атмосферных осадков и снежного покрова позволило получить уточнённое уравнение локальной линии метеорных вод для зимнего периода в районе г. Якутска, значения коэффициента и свободного члена в котором близки к значениям глобальной линии метеорных вод. Получены уточненные зависимости изотопного состава зимних атмосферных осадков от температуры воздуха в районе г. Якутска, которые близки к значениям для холодных регионов Северного полушария.

Ключевые слова: атмосферные осадки, снежный покров, изотопный состав.

The paper presents the data on precipitation and snow cover isotopic composition in the area of Yakutsk city in winter 2013–2014. The results are in agreement with the published average data on the precipitation isotopic composition for cold seasons 2000/2001. The combined use of atmospheric precipitation and snow cover isotopic analysis results allowed us to specify the equation of local meteoric water line for the winter period in the area of Yakutsk, where the coefficient and the constant term are close to the global meteoric water line. Specified dependencies of the isotopic composition of winter precipitation on the temperature in the area of Yakutsk are obtained which are close to the values for the cold regions of Northern Hemisphere.

Key words: precipitation, snow cover, isotopic composition.

### Введение

Значительные климатические изменения в последние десятилетия отмечаются в разных

регионах Земли, но особенно резкие, носящие экстремальный характер, чаще всего фиксируются в средних и высоких широтах Северного полушария [1]. В пятом докладе I Рабочей группы МГЭИК значительное внимание уделено оценке региональных климатических изменений в связи с тем, что именно совокупность региональных оценок и прогнозов этих изменений в климатической системе даст наиболее точный общий глобальный прогноз. Результаты моделирования, представленные в разделе «Климатические явления: актуальность для будущих изменений регионального климата», показали,

\*МАЛЫГИНА Наталья Сергеевна – к.г.н. г., н.с., [natmgn@gmail.com](mailto:natmgn@gmail.com); \*ПАПИНА Татьяна Савельевна – д.х.н., начальник Химико-аналитического центра, [tanya.papina@mail.ru](mailto:tanya.papina@mail.ru); \*ЭЙРИХ Алла Николаевна – к.т.н., н.с., [allnik608@gmail.com](mailto:allnik608@gmail.com); \*\*ЖИРКОВ Александр Федотович – н.с., [zhirkov\\_af@mail.ru](mailto:zhirkov_af@mail.ru); \*\*ЖЕЛЕЗНЯК Михаил Николаевич – д.г.-м.н., директор, [fe@mpi.ysn.ru](mailto:fe@mpi.ysn.ru).

## ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ И СНЕЖНОГО ПОКРОВА В Г. ЯКУТСКЕ

что к 2035 г. в средних и высоких широтах сумма годовых атмосферных осадков может увеличиться почти на 20 %, а повышение средней годовой температуры воздуха может достичь 3 °C [1]. Дополнительно указывается, что данные изменения, вероятно, произойдут раньше и будут иметь наибольшие значения во внутриконтинентальных и приполярных регионах.

Альтернативным «классическому» моделированию прогнозных оценок атмосферных осадков и источников их поступления служит моделирование климатических изменений на основе данных по составу стабильных изотопов воды ( $^1\text{H}$ ,  $\text{D}$ ,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$ ). Изотопный состав атмосферных осадков характеризуется значительными вариациями, как во времени, так и пространстве. Закономерное распределение изотопного состава атмосферных осадков описывается уравнением  $\delta^2\text{H}=8\cdot\delta^{18}\text{O}+10$  [2], именуемым глобальной линией метеорных вод – ГЛМВ. Эмпирические зависимости изменений изотопного состава атмосферных осадков от приземной температуры воздуха, относительной влажности атмосферы и количества осадков впервые были научно обоснованы В. Дансгарам [3], а затем уточнены в работе [4].

Зависимости между  $\delta^{18}\text{O}$  ( $\delta^2\text{H}$  или  $\delta\text{D}$ ) и температурой, впервые установленные В. Дансгарам [3] по данным почти 40 континентальных и островных станций Атлантического региона и имеющие вид:  $\delta^{18}\text{O}=0,69t^{\circ}-13,6$  и  $\delta^2\text{H}=5,6t^{\circ}-100$ , успешно используются в качестве «изотопного палеотермометра» [5]. Возможные принципиальные ограничения при традиционной интерпретации значений  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^2\text{H}$  в качестве изотопного палеотермометра в средних и высоких широтах обоснованы в работе [6]. Расчетный показатель – дейтериевый эксцесс ( $d$ -excess – сокращенно  $d_{\text{ex}}$ ), предложенный В. Дансгарам [3] на основе зависимости значений стабильных изотопов в атмосферных осадках ( $d_{\text{ex}}=\delta\text{D}-8\cdot\delta^{18}\text{O}$ ), эффективно применяется при идентификации источников водяного пара или атмосферных осадков [7–8], что является очень важным при «изотопном» моделировании как прошлых, так и будущих климатических изменений.

К сожалению, имеется ограниченное количество работ по изучению изотопного состава атмосферных осадков на территории России. Тем не менее, для отдельных регионов проведены детальные исследования как российскими, так и зарубежными учеными. Например, В. С. Брезгуновым с соавторами [9] установлена связь между средней годовой температурой воздуха и значениями  $\delta^{18}\text{O}$  в атмосферных осадках для севера России. Под руководством Ю. К. Василь-

чука проводились исследования, как в «холодных», так и горных регионах [10–12]. Для части территории Восточной Сибири так же был определен изотопный состав атмосферных осадков и предприняты попытки идентифицировать источники их поступления [13–14].

Целью нашей работы является изучение изотопного состава ( $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta\text{D}$ ) зимних атмосферных осадков и снежного покрова в Центральной Якутии (в районе г. Якутска) и определение зависимости изменений изотопного состава атмосферных осадков и температурных условий зимнего периода 2013–2014 гг.

Город Якутск расположен в центральной части Восточной Сибири, в среднем течении р. Лены. Территория ограничена с востока и северо-востока Верхоянским хребтом, с юга Алданским нагорьем (рис. 1). В природно-климатическом отношении Центральная Якутия отличается высокой континентальностью климата со значительными внутригодовыми изменениями температур воздуха (средние амплитуды между среднемесячными значениями около 60 °C) и количеством осадков около 235 мм (1961–1990 гг.), сравнимым с количеством осадков в степных и полупустынных регионах [15–16]. Согласно исследованиям Ю. Б. Скачкова [16], в последние десятилетия на территории Центральной Якутии наблюдаются значительные межгодовые колебания атмосферных осадков, имеющих противоположные тенденции, как для годовых значений, так и отдельных сезонов года.



Рис. 1. Территория Центральной Якутии и местоположение г. Якутска

### Материалы и методы исследований

На территории научного стационара «Туймаада» (Институт мерзлотоведения СО РАН, г. Якутск) в течение зимнего периода 2013–2014 гг. нами был проведен отбор проб твердых атмосферных осадков. Всего за исследуемый период отобрано 78 % от общего количества случаев выпадения осадков за сезон. В ходе отбора

атмосферных осадков фиксировались их объем, продолжительность выпадения, а также основные метеопараметры окружающей среды. Оценка синоптических условий на время выпадения осадков проводилась на основе данных наблюдений на стационаре «Туймаада», а также сайта [17], на котором информация о фактической погоде в г. Якутске представлена из двух источников: с сервера метеоданных международного обмена (NOAA, США) и автоматической системы передачи данных Росгидромета.

Атмосферные осадки, собранные непосредственно после окончания снегопада, помещались в пластиковые герметичные контейнеры и до начала анализа (включая время транспортировки) хранились в замороженном виде. Дополнительно на территории стационара были отобраны послойные пробы снежного покрова, которые также хранились в герметичных контейнерах в замороженном виде до проведения анализа.

Анализ состава стабильных изотопов ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$ ) в пробах атмосферных осадков был выполнен в химико-аналитическом центре Института водных и экологических проблем СО РАН (г. Барнаул). Методика выполнения анализа включала следующие этапы: пробы атмосферных осадков и снега растапливали при комнатной температуре, затем фильтровали, помещали в герметично закрывающиеся пробирки и до начала проведения анализа хранили в ходильнике. Определение стабильных изотопов выполнялось методом лазерной абсорбционной ИК-спектрометрии на приборе PICARRO L2130-i, оснащенном системой WS-CRDS (Wavelength-Scanned Cavity Ring Down Spectroscopy). Использование технологии (WS-CRDS) позволило устраниТЬ спектральные наложения [18] и достигнуть высокой точности и воспроизводимости определения содержания  $\delta\text{D}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  в анализируемых образцах. Точность измерения  $\delta\text{D}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  ( $1\sigma$ ,  $n = 5$ ) составила  $\pm 0,4\text{‰}$  и  $\pm 0,1\text{‰}$ , соответственно. В качестве внутренних стандартов использовались пробы воды, откалиброванные относительно Международного стандарта V-SMOW-2 (МАГАТЭ).

### Результаты и их обсуждение

Результаты изотопного анализа атмосферных осадков в г. Якутске в зимний период 2013–2014 гг. показали, что значения  $\delta^{18}\text{O}$  в них изменяются от  $-22,6$  до  $-38,5\text{‰}$ , а  $\delta\text{D}$  – от  $-171,2$  до  $-296,0\text{‰}$ . Полученные результаты хорошо согласуются с литературными данными для средних значений за три зимних месяца (декабрь–февраль) [19], равными  $\delta^{18}\text{O} -33,0\text{‰}$  и  $\delta\text{D} -265,8\text{‰}$ . Значения результатов изотопного анализа графически расположены выше ГЛМВ

(рис. 2). Локальная линия метеорных вод (ЛЛМВ), построенная по полученным нами данным, описывается уравнением  $\delta\text{D} = 7,78 \cdot \delta^{18}\text{O} + 10,1$ , аппроксимирующим результаты изотопного анализа осадков при достоверности  $R^2 = 0,99$ . В данном уравнении угловой коэффициент несколько ниже значения «8», что говорит об отсутствии существенного изотопного фракционирования анализируемых атмосферных осадков, а его близость к результатам, полученным для зимних осадков г. Иркутска (8,05) и г. Хабаровска (7,85) [20], говорит о высокой степени достоверности полученных нами результатов.

Фракционирование изотопов в атмосферных осадках определяется, в первую очередь, температурой [21]. Однако связь температурных условий и изотопного состава атмосферных осадков имеет региональные особенности, обусловленные, прежде всего, широтным и континентальным эффектом. При этом наиболее тесная взаимосвязь  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta\text{D}$  с температурой воздуха прослеживается в умеренных и высоких широтах континентальных регионов в зимний период [21].

Уравнение регрессии, описывающее зависимость изменения изотопного состава атмосферных осадков г. Якутска от температуры воздуха в зимний период 2013–2014 гг., имеет следующий вид:  $\delta^{18}\text{O} = 0,59t^\circ - 19,7$  ( $R^2 = 0,88$ ) и  $\delta\text{D} = 4,16t^\circ - 149,38$  ( $R^2 = 0,89$ ). Рассчитанные коэффициенты близки к значениям, полученным для 40 станций ВМО [3] и равным 0,69 и 5,6 для  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta\text{D}$ , а «свободные члены» уравнений имеют более низкие значения, отражая континентальный эффект [21–22].

В снежном шурфе из трех визуально выделенных горизонтов послойно были отобраны

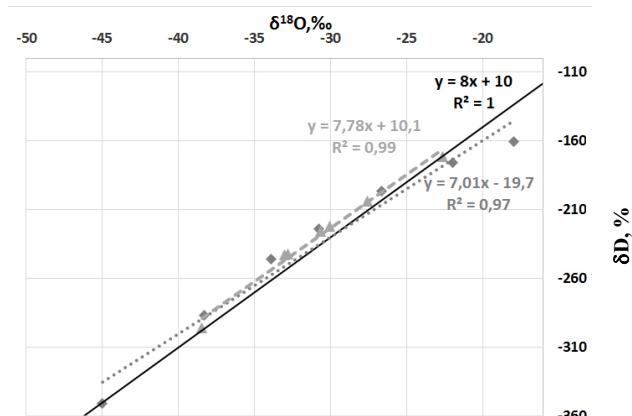


Рис. 2. Диаграммы  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta\text{D}$  изотопного состава атмосферных осадков (светло-серая штриховая линия) и снежной толщи на стационаре «Туймаада» (серая пунктирная линия), ГЛМВ (черная сплошная линия)

## ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ И СНЕЖНОГО ПОКРОВА В Г. ЯКУТСКЕ

пробы снега через каждые 3 см. Нижний горизонт был представлен глубинной изморозью и крупными прозрачными ледяными кристаллами, его мощность составляла 6 см. Второй горизонт имел мощность 12 см и состоял из среднезернистого снега белого цвета, в толще данного горизонта было отобрано четыре пробы. Верхний горизонт, мощность около 3 см, состоял из свежевыпавшего (частично уплотнённого метелевого) снега, что позволило отобрать только одну пробу.

Результаты изотопного анализа проб снежного покрова (рис. 2) показали, что от слоя к слою значения  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta\text{D}$  изменяются в широком диапазоне: от  $-17,9$  до  $-45,0\text{‰}$  для  $\delta^{18}\text{O}$  и от  $-160,6$  до  $-350,6\text{‰}$  для  $\delta\text{D}$ . При этом изотопически существенно были утяжелены нижние слои снега (на графике точки ниже ГЛМВ), как относительно других слоев снежного покрова, так и атмосферных осадков. Для снежного покрова ЛЛМВ описывается уравнением  $\delta\text{D}=7,01\cdot\delta^{18}\text{O}-19,7$ . Полученные значения угла наклона несколько ниже значений (ЛЛМВ) зимних атмосферных осадков, а также значений ГЛМВ, что позволяет говорить о метаморфизации изотопного состава снежного покрова.

Для оценки степени метаморфизации снежного покрова дополнительно для каждой пробы был рассчитан дейтериевый эксцесс ( $d_{\text{exc}}$ ) – рис. 3.

Для нижнего слоя – глубинной изморози значения  $d_{\text{exc}}$  были наиболее отрицательными и изменялись от  $-17,1$  до  $-0,3\text{‰}$ , что связано с влиянием термического градиента, обуславливающего переход водяного пара из грунта, содержащего смесь изотопически более тяжелых дождевых осадков и талой воды в вышележащий снег [23]. С этими же процессами связаны более высокие значения  $\delta\text{D}$  (порядка  $20\text{‰}$ ) в нижнем слое по сравнению с вышележащими. Стоит отметить, что угол наклона для этого

слоя составил 4, что подтверждает наличие диффузного разделения изотопов (диффузный перенос влаги из почвы в нижние слои снежного покрова), для которого характерны углы наклона от 2 до 5 [23].

В вышележащих горизонтах снежного покрова значения  $d_{\text{exc}}$  варьировали от  $+16,3$  до  $+25,3\text{‰}$ . Такие относительно высокие величины, рассчитанные как для снежной толщи, так и для атмосферных осадков, свидетельствуют об испарении начальной влаги в холодную и очень сухую атмосферу. Такая синоптическая ситуация создает экстремально неравновесные условия для формирования изотопного состава анализируемых атмосферных осадков, составивших данный слой. Несущественные превышения значений  $d_{\text{exc}}$  отмечены во втором визуальном слое снежного покрова. Это связано, как с возможным кинетическим фракционированием изотопного состава при понижающихся температурах [24], что подтверждают данные метеорологической станции, так и с влиянием нижележащего слоя (воздонка водяного пара) [24], что приводит к увеличению значений  $d_{\text{exc}}$ .

Верхний слой снежного покрова характеризуется наиболее облегченным составом ( $\delta^{18}\text{O}=-45,0\text{‰}$  и  $\delta\text{D}=-350,6\text{‰}$ ) относительно нижележащих слоев и проанализированных атмосферных осадков. Отличия значений изотопного состава верхнего слоя снежного покрова и значений атмосферных осадков связаны со следующим. Последняя серия осадков, составляющая верхний горизонт, выпадала при сильном ветре, скорость которого достигала 10 м/с, что привело к их существенному выдуванию из пробоотборника. В связи с этим малое количество атмосферных осадков не позволило провести анализ их изотопного состава. Стоит отметить, что территория места отбора проб снежного покрова относительно защищена лесным массивом, что повлияло на хорошую сохранность данного слоя и позволило отобрать пробу верхнего горизонта снежного покрова, сформированного последней серией осадков.

Значения  $d_{\text{exc}}$  верхнего слоя существенно снижаются относительно значений предыдущего визуально выделенного слоя снежного покрова и близки к значениям  $d_{\text{exc}}$  ГЛМВ, равным  $10\text{‰}$ . Это позволяет сделать предположение о незначительном изотопном фракционировании данного слоя и с большой степенью уверенности предположить, что источником атмосферных осадков, сформировавших данный слой, была Атлантика. При этом по пути от источника испарения к месту выпадения осадков (г. Якутск), в равновесных условиях происходило изотопическое облегчение атмосферных осадков.

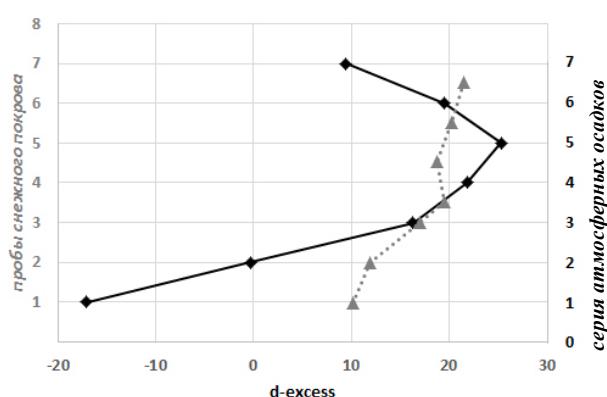


Рис. 3. Профиль  $d$ -excess атмосферных осадков (чёрная кривая) и снежной толщи на стационаре (серая пунктирная кривая)

Принимая во внимание, что верхний слой снежного покрова сформирован относительно изотопически не метаморфизованными осадками, предлагается использовать значения его изотопного состава для уточнения ЛЛМВ, построенной по изотопным данным атмосферных осадков. С учетом верхнего слоя снежного покрова ЛЛМВ будет описываться уравнением  $\delta D = 8,19 \cdot \delta^{18}\text{O} + 21,9$  при возросшей аппроксимации ( $R^2 = 0,99$ ), а значение углового коэффициента будет наиболее близким к значению коэффициента ГЛМВ.

Используя значения изотопного состава верхнего слоя снежного покрова и температуры воздуха в момент выпадения осадков, составивших этот слой, к расчету зависимостей изотопного состава атмосферных осадков от температурных условий зимнего периода 2013–2014 гг., получаем уравнения регрессии следующего вида:  $\delta^{18}\text{O} = 0,68 \text{ t}^{\circ} - 18,3$  ( $R^2 = 0,96$ ) и  $\delta D = 5,52 \text{ t}^{\circ} - 129,8$  ( $R^2 = 0,95$ ). Рассчитанные в этих уравнениях коэффициенты близки к значениям, полученным В. Дансгаром [3], а также для регионов со среднегодовой температурой ниже 15 °C [5].

### Заключение

Исследование изотопного состава атмосферных осадков и снежного покрова в районе г. Якутска в зимний период 2013–2014 гг. показало их существенное варьирование (от -17,9 ‰ до -45,0 ‰ для  $\delta^{18}\text{O}$  и от -160,6 ‰ до -350,6 ‰ для  $\delta D$ ) и хорошее согласование с ранее опубликованными данными для зимнего сезона 2000/2001 г. Снежный покров в зимний период 2013–2014 гг. в районе г. Якутска характеризовался изотопной метаморфизацией, обусловленной диффузным переносом влаги и кинетическим фракционированием при понижающихся температурах. Полученные значения изотопного состава атмосферных осадков и снежного покрова позволили уточнить ЛЛМВ, описываемую уравнением  $\delta D = 8,19 \cdot \delta^{18}\text{O} + 21,9$ , которое близко к уравнению ГЛМВ. Уточненные зависимости изотопного состава зимних атмосферных осадков от температуры в районе г. Якутска описываются уравнениями  $\delta^{18}\text{O} = 0,68 \text{ t}^{\circ} - 18,3$  и  $\delta D = 5,52 \text{ t}^{\circ} - 129,8$  и близки к уравнениям, полученным для холодных регионов Северного полушария.

### Литература

1. <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>.
2. *Craig H.* Isotopic variations in meteoric waters // *Science*. – 1961. – Vol. 133. – C. 1702 – 1703.
3. *Dansgaard W.* Stable isotopes in precipitation // *Tellus*. – 1964. – Vol. 16. – P. 436–468.
4. *Rozanski K., Araguifis-Araguifis L., Gonfiantini R.* Isotopic patterns in modern global precipitation // Climate Change in Continental Isotopic Records, *Geophys. Monogr.* – 1993. – Vol. 78. – P. 1–36.
5. *Jouzel J., Petit J. R., Souchez R. et al.* Evidence of more than 200 m thick of lake ice above the subglacial lake Vostok, Central East Antarctica // *Science*. – 1999. – Vol. 286. – P. 2138–2141.
6. *Fricke H., O'Neil J.* The correlation between  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  ratios of meteoric water and surface temperature: its use in investigating terrestrial climate change over geologic time // *Earth Planet. Sci. Lett.* – 1999. – Vol. 170. – P. 181–196.
7. *Merlivat L., Jouzel J.* Global climatic interpretation of the deuterium–oxygen 18 relationship in precipitation // *J. Geophys. Res.* – 1979. – Vol. 84. – P. 5029–5033.
8. *Froehlich K., Gibson J.J., Aggarwal P.K.* Deuterium excess in precipitation and its climatological significance // *Study of environmental change using isotope techniques*. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2002. – P. 54–65.
9. *Брезгунов В.С., Есиков А.Д., Ферронский В.И., Сальнова Л.В.* Пространственно-временные вариации изотопного состава кислорода атмосферных осадков и речных вод на территории северной части Евразии, их связь с использованием температуры // *Водные ресурсы*. – 1998. – Т. 25, № 1. – С. 73–84.
10. *Васильчук Ю.К., Чижова Ю.Н., Папеш В., Буданцева Н.А.* Высотный изотопный эффект в снеге на леднике Гарабаши в Приэльбрусье // *Криосфера Земли*. – 2005. – Т. 9, № 4. – С. 72–81.
11. *Васильчук Ю.К., Чижова Ю.Н., Папеш В., Буданцева Н.А.* Изотопный состав языка ледника Большой Азау в Приэльбрусье // *Криосфера Земли*. – 2006. – Т. 10, № 1. – С. 56–68.
12. *Васильчук Ю.К., Чижова Ю.Н.* Высотный градиент распределения  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta D$  в атмосферных осадках и в снежном покрове высокогорных районов // *Криосфера Земли*. – 2010. – Т. 14, № 1. – С. 13–21.
13. *Kurita N., Numaguti A., Sugimoto A. et al.* Relationship between the variation of isotopic ratios and the source of summer precipitation in eastern Siberia // *J. Geophys. Res.* – 2003. – Vol. 108 (D11) 339, doi:10.1029/2001JD001359.
14. *Kurita N., Sugimoto A., Fujii Y. et al.* Isotopic composition and origin of snow over Siberia // *J. Geophys. Res.* – 2005. – Vol. 110, D13102, doi:10.1029/2004JD005053.
15. *Гаврилова М.К.* Климат Центральной Якутии. – Якутск: Якутское книжн. изд-во, 1962. – 63 с.
16. *Скачков Ю.Б.* Тенденции изменения климата Центральной Якутии на рубеже XX–XXI вв. // Региональный отклик окружающей среды на глобальные изменения в Северо-Восточной и Центральной Азии: Материалы Межд. науч. конф. (17–21 сентября 2012 г., Иркутск). – Иркутск: Изд-во Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2012. – Т. 1. – 254 с.

17. <http://rp5.ru/docs/about/ru>.
18. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2014/EGU2014-14973.pdf>.
19. Kurita N., Yoshida N., Inoue G., Chayanova E.A. Modern isotope climatology of Russia: A first assessment // J. Geophys. Res. – 2004. – Vol. 109, D03102, doi:10.1029/2003JD003404.
20. Araguás-Araguás L., Froehlich K., Rozanski K. Stable isotope composition of precipitation over southeast Asia // J. Geophys. Res. – 1998. – Vol. 103(D22). – P. 28721–28742.
21. Васильчук Ю.К., Котляков В.М. Основы изотопной геокриологии и гляциологии. – М.: Изд-во МГУ, 2000. – 616 с.
22. Ферронский В.И., Поляков В.А. Изотопия гидросферы Земли. – М.: Научный мир, 2009. – 632 с.
23. Friedman I., Benson C., Gleason J. Isotopic changes during snow metamorphism / Stable Isotope Geochemistry: A Tribute to Samuel Epstein. The Geochemical Society, San Antonio / Taylor H. P., O'Neil J. R. and Kaplan I. R. (Eds), 1991. – P. 211–221.
24. Hou S.G., Wang Y.T., Pang H.X. Climatology of stable isotopes in Antarctic snow and ice: Current status and prospects // Chin Sci Bull. – 2013. – Vol. 58. – P. 1095–1106, doi: 10.1007/s11434-012-5543-y.

Поступила в редакцию 20.05.2015

УДК 551.52; 551.593

## Температурный эффект аэрозоля в летний сезон над центральной частью Якутии

М.С. Васильев, С.В. Николашкин

Институт космических исследований и аэрономии СО РАН, г. Якутск

Приводятся результаты исследования температурного эффекта аэрозоля в летний сезон над центральной частью Якутии за период 2004–2014 гг. Использованы данные натурных и спутниковых измерений, а также климатических моделей NCEP/NCAR и ERA-Interim на основе тех же измерений. Данные по аэрозольному содержанию и распределение по размерам частиц получены по измерениям на солнечном фотометре CE-318 сети «AERONET» около Якутска. Впервые показано, что возмущение атмосферы аэрозольными частицами от воздействия очагов возгорания лесного массива приводит к снижению потока прямой солнечной радиации и при наличии отрицательной фазы уходящей длинноволновой наблюдается понижение приземной температуры воздуха.

Ключевые слова: приземная температура воздуха, аэрозоль, радиационный бюджет, квазинедельные ритмы, климатические модели.

*The results of an investigation of temperature effect of aerosol in the summer season over the central part of Yakutia during the period 2004–2014 are presented. The data of ground-based and satellite measurements and also of climate models NCEP/NCAR and ERA-Interim, which are based on the same measurements. Aerosol depth and particle size distribution data are obtained using «AERONET» CE-318 sunphotometer near Yakutsk. It is first time showed that a disturbance of the atmosphere by aerosol particles which is caused by forest fires area lead to a decrease of direct solar radiation flow and in an additional presence of a negative phase of upward longwave one, a surface air temperature decreasing is observed.*

Key words: surface air temperature, aerosol, radiative budget, quasi-weekly rhythms, climate models.

### Введение

Известно, что атмосферный аэрозоль является одним из климатообразующих компонент атмосферы [1, 2]. В зависимости от размеров частиц

(дисперсности) аэрозоль делят на три класса: дымы (высокодисперсные 0,001 – 0,1 мкм); облака, туманы (среднедисперсные 0,1 – 10 мкм); пыль (грубодисперсные, размеры частиц которых более 10 мкм) [3].

Радиационный бюджет атмосферы во многом зависит от концентрации аэрозольных частиц, которые имеют свойство рассеивать и поглощать солнечную и тепловую радиацию [4], а также воздействуют на микроструктуру обла-

ВАСИЛЬЕВ Михаил Семенович – м.н.с., m.s.vasiliev@ikfia.sbras.ru; НИКОЛАШКИН Семен Викторович – к.ф.-м.н., зав. лаб., nikolashkin@ikfia.sbras.ru.