

Н. С. ФРОЛОВА, Г. С. ЗИНЧЕНКО, Т. С. ПАПИНА

РЕГИОНАЛЬНЫЕ АТМОСФЕРНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ПЫЛЕВОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ЛЕДНИКА ГОРЫ БЕЛУХА

Анализируются метеорологические условия и источники формирования твердых частиц (пыли), которые визуальнo фиксируются в слоях ледникового керна, отобранного совместной российско-швейцарской экспедицией в 2001 г. в седловине горы Белуха Алтайского горного массива (Катунский хребет).

Ключевые слова: палеоклиматическая информация, высокогорные ледники, синоптические процессы, пыльные бури, аэрозольное загрязнение.

N analysis is made of the meteorological conditions and of the formation sources of solid particles (dust) which are visually recorded in the layers of the ice core sampled by the joint Russian-Swedish expedition in 2001 in the saddle of Mt. Belukha of the Altai mountain massif (Katusky Range).

Keywords: palaeoclimatic information, alpine glaciers, synoptic processes, dust storms, aerosol pollution.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Для оценок уровня загрязненности атмосферы, влияющей на современное состояние климата, прямые мониторинговые наблюдения и теоретические расчеты являются основополагающими. Однако они не позволяют в полной мере получать экологическую и климатическую информацию относительно прошедших эпох, которая также необходима и для прогнозных оценок. Палеоклиматическую информацию и данные об экологическом состоянии атмосферы в прошлом можно получить при исследовании природных накопителей информации, в качестве которых могут выступать высокогорные и полярные льды, глубоководные донные осадки, отложения торфа, некоторые осадочные породы и другие объекты исследования [1].

В последнее время одним из основных источников получения палеоклиматической информации служат высокогорные ледники. Повышенный интерес именно к этим наземным стратифицируемым накопителям обусловлен наблюдающейся интенсивной их деградацией, которая может привести к потере их в качестве «палеоархивов» [2].

Хотя данные, заключенные в ледниковых кернах, имеют свои ограничения, использование их для палеоанализа кажется сейчас практически неограниченным. Во-первых, в ряде случаев удается получить высокое временное разрешение (около года). Во-вторых, можно получить непрерывные ряды и количественные данные по важнейшим климатическим параметрам: температуре воздуха, осадкам, силе ветров. В-третьих, они представляют собой уникальную запись изменения состава древней атмосферы, включающую важнейшие газы, химические примеси континентального и морского происхождения, следы основных компонентов и изотопов, вулканические аэрозоли [3].

Высокогорные ледники вызывают большой интерес у исследователей в связи с оценкой уровня загрязнения атмосферы веществами, способными переноситься на значительные расстояния. Типичными представителями такого класса загрязняющих веществ являются аэрозольные частицы, которые, обладая охлаждающим действием, частично компенсируют тепляющее влияние парниковых газов [4].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель данной работы — оценка метеорологических условий и определение источников твердых аэрозольных частиц (пыли), которые визуальнo фиксируются в слоях 142-метрового ледникового керна, отобранного совместной российско-швейцарской экспедицией в 2001 г. в седловине горы Белуха (Катунский хребет).

В настоящее время большая часть отобранного ледникового керна горы Белуха датирована и проанализирована на послойное содержание в ней основных веществ, связанных с биогенной (NH_4^+ , COOH^-), почвенной (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , Na^+) и антропогенной (SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+) эмиссией в атмосферу [5, 6]. При этом в изученной части керна, по последним данным, визуальнo выделяются пять слоев пыли, приходящиеся на 1842, 1906, 1925, 1985 и 1986 гг., из которых наиболее ярко проявляется 9-сантиметровый слой, датированный 1842 г. [7]. Химический анализ пылевых слоев

показал, что все пять слоев имеют сходный минеральный (ионный) состав. Водорастворимые формы являются основными трассерами эмиссии почвенных частиц в атмосфере.

Интерпретация возникновения слоев, относящихся к 1842, 1906, 1925 гг., представляет значительные трудности, хотя для 1906 и 1925 гг. в архивах имеются упоминания о том, что им предшествовали засушливые летние периоды и маловодные весенние, что в последующем должно было создать условия для возникновения пыльных бурь. Более доступными для расшифровки представляются слои 1985 и 1986 гг., так как для этих периодов в архивах сохранилось достаточное количество разноплановой информации, в том числе и синоптические карты, имеющиеся в архиве Института водных и экологических проблем СО РАН.

Анализ архивных данных для территории Алтайского региона позволил показать, что пылевой слой в керне льда горы Белуха, датированный 1985 г., сформирован событиями регионального атмосферного процесса 7–15 августа 1985 г., причем основной вклад в формирование пылевого слоя внес смерч, сформировавшийся в Рубцовском районе Алтайского края при прохождении через него холодного атмосферного фронта [8].

Синоптические процессы, приводящие к возникновению в аридных районах Западной Сибири пыльных бурь и шквалов, наблюдаются практически ежегодно, но лишь в единичных случаях (2–5 %-ная повторяемость) интенсивность и продолжительность этих опасных явлений достигают категории «сильные». Многочисленные исследования [9–13] показали, что средне- и мелкодисперсная пыль, сорванная с поверхности земли, восходящими потоками может быть поднята на высоту более 5 км и перенесена ветром на тысячи километров. В подобных случаях при прохождении пылевого облака над территорией Алтайского горного массива вероятны осаждение и последующее «захоронение» пыли на поверхности ледника Белуха. Особенно значительные отложения могут происходить при поступлении облачной пыли с осадками.

Для подтверждения данного вывода необходимо было выявить если не прямые указания на возникновение подобных атмосферных явлений, то хотя бы косвенные свидетельства, указывающие на значительную вероятность возникновения следующей цепи событий: прохождение динамически значимых холодных фронтов через южные районы Западной Сибири и север Казахстана; возникновение пыльных бурь в аридных районах региона; перенос поднятых аэрозольных частиц в направлении Алтайского горного массива; осаждение частиц на поверхности ледника и «захоронение» их в результате дальнейшего понижения температуры.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Прежде всего мы обратились к расшифровке слоя, относящегося к 1986 г. Для этого были проанализированы данные метеонаблюдений и синоптические карты [14–18] для территорий Алтайского края и Республики Алтай за летний период этого года. В результате выявлено четыре случая, когда синоптическая ситуация была благоприятна для возникновения в аридных районах края шквалов и пыльных бурь.

Так, 12 июня 1986 г. отмечена пыльная буря в районе Онгудая, а 13 июня — в Угловском районе. При этом сформировалась следующая синоптическая ситуация: высотный циклон был расположен на севере Красноярского края, приземное поле на юге Западной Сибири характеризовалось многоцентральной депрессией, через которую проходили две системы холодных фронтов. В районе Магнитогорска на волне фронта сформировался локальный циклон, который по ведущему воздушному потоку вдоль широты 50° смещался в восточном направлении. Атмосферные фронты, связанные с ним, проходили через районы Алтайского края и Республики Алтай. Здесь сформировалась мощная кучево-дождевая облачность, сопровождавшаяся грозами и шквалистыми ветрами. При прохождении фронтов отмечались пыльные бури, вся облачная система смещалась со стороны аридных районов в сторону горного массива.

19 июля 1986 г. пыльная буря была зафиксирована в с. Завьялово, а 20 июля (ночью) — в с. Ключи. При этом приземный циклон смещался по траектории Арал–Омск–Новосибирск и определял погоду южных районов региона. Фронты, связанные с циклоном, проходили через Алтайский край и Республику Алтай. Большая динамическая неустойчивость воздушных масс и сильные ветры в зоне фронтов приводили к возникновению на равнинной территории края локальных очагов пыльных бурь. Поднятая в воздух пыль вместе с кучево-дождевой облачностью смещалась в сторону Алтайских гор.

15 августа 1986 г. в с. Ключи пыльная буря была зафиксирована при следующей синоптической ситуации. Над Западно-Сибирской равниной располагался высотный циклон с квазивертикальной пространственной осью, ложбина которого была ориентирована на юг в направлении Павлодара. В это время на волне холодного фронта над южными районами Алтая сформировался частный циклон, ко-

торый определил погоду в северо-восточных районах Казахстана и в Алтайском крае. Фронты, связанные с циклоном, быстро окклюдируются, смещаясь в сторону горного массива, при этом формировалась мощная кучево-дождевая облачность, а в аридных районах отмечены шквалы и пыльные бури. Поднятая пыль, втянутая в облака, смещалась в направлении горного массива.

1 октября 1986 г. пыльная буря была зафиксирована в Угловском районе. Высотное поле 30 сентября характеризовалось мощным циклоном с центром над восточным сектором Арктики, одна из глубоких ложбин которого ориентирована на Арал. 30 сентября в районе оз. Балхаш на волне холодного фронта сформировался циклон, который стремительно смещался в северо-восточном направлении. При этом две системы холодных фронтов проходили через Алтайский край и Республику Алтай. В циклоне отмечались резкие перепады температур: 30 сентября и 1 октября в теплом секторе циклона воздух прогревался до 27 °С, затем в тылу циклона произошел заток холодного воздуха с температурой 0–6 °С. При прохождении фронтов в крае отмечались сильные грозы; особенно мощная кучево-дождевая облачность сформировалась на юге края. Ветер усиливался, его порывы достигали 18–22 м/с. Пыль, поднятая в воздух в аридных районах края, переносилась облачностью в направлении горного массива.

Во всех перечисленных случаях при прохождении холодных фронтов над алтайским горным массивом отмечались дожди, в августе и октябре в высокогорье — мокрый снег. Таким образом, нетрудно предположить, что пылевой слой в керне льда горы Белуха, датированный 1986 г., был сформирован событиями региональных атмосферных процессов 1986 г., причем каждый из выше описанных случаев внес определенный вклад в его формирование.

Что же касается слоя, относящегося к 1842 г., то из архивов удалось извлечь лишь отдельные сведения следующего содержания. В 1842, 1850, 1861 и 1889 гг. осадков не было [19] — это одно из упоминаний об уникальности в синоптическом отношении 1842 г., что косвенно подтверждается следующими данными: «Наводнения также отмечены в Томске (1804, 1820, 1841 1843 гг.)» [20, с. 7], т. е. можно предположить, что в 1842 г. весенний паводок на Оби был незначительным.

Наиболее полное описание 1842 г. дается в работе П. Чихачева [21], который побывал на Алтае в том году. В частности, дано описание событий июля 1842 г.: «...Темные мрачные тучи, уже давно нависшие над нашими головами, разразились наконец страшной грозой... Следует отметить, что накануне того дня, когда выпал такой глубокий снег, несмотря на довольно низкую температуру, в горах время от времени гремел гром и сверкали ослепительные молнии. После грозы, сопровождавшейся проливным дождем, опустился густой туман и, наконец, выпал снег, который примерно через десять часов при температуре –0,2° достиг толщины 12 сантиметров» [21, с. 145].

Следовательно, можно сделать вывод, что синоптическая ситуация 3(15)–6(18) июля 1842 г. была нетипичной. Многолетний опыт работы в данном регионе позволяет утверждать, что подобное развитие событий наблюдается при прохождении динамически значимых холодных фронтов, сопровождающихся рядом опасных атмосферных явлений, в том числе шквалами и пыльными бурями.

В первой половине 1842 г. осадки практически отсутствовали, что могло привести к значительному иссушению территории, особенно верхних горизонтов почвы. Во второй половине летнего сезона при возникновении соответствующих синоптических ситуаций наблюдались сильные штормовые ветры и формировалась мощная кучево-дождевая облачность; в результате создались условия для возникновения пыльных бурь, шквалов, смерчей, что должно было привести к подъему большого количества пыли на значительную высоту и дальнейшему переносу ее в направлении ведущего воздушного потока в сторону горного массива.

К сожалению, для 1906 и 1925 гг. нам удалось получить лишь отрывочные данные, свидетельствующие о том, что «100 лет назад, в 1906 году, март был аномально теплым и малоснежным — среднемесячная температура воздуха была на 4,2° выше средней многолетней, осадков выпало менее 30 % нормы» [22, с. 2]. И еще: «Повсеместная засуха 1925 года подтолкнула к организации лесоразведения на Алтае и в Рубцовском уезде» [23, с. 1]. Таким образом, при соответствующих атмосферных процессах с большой вероятностью в аридных районах края могли возникнуть пыльные бури и перенос пыли в направлении Алтайского горного массива.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ синоптических ситуаций и архивных метеоданных позволил предположить, что определяющим условием поступления твердых аэрозольных частиц в слои ледника горы Белуха является формирование на юге Западной Сибири и севере Казахстана атмосферных процессов, способствующих обострению холодных фронтов и приводящих к возникновению в регионе пыльных бурь, шквалов и смерчей. Пыль, поднятая в воздух в аридных районах Северного Казахстана и Алтая, переносится на значительные расстояния и вымывается осадками на подстилающую поверхность по пути перемещения барических образований на восток, в том числе и на поверхность горы Белухи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Barbante C., Schwikowski M., Döring T. et al.** Historical record of European Emissions of heavy metals to the atmosphere since the 1650s from Alpine snow/ice cores drilled near Monte Rosa // *Envir. Sci. Technol.* — 2004. — Vol. 38. — P. 4085–4090.
2. **Thompson L. G.** High altitude, mid- and low-latitude ice core records: implications for our future // *Earth Paleoenvironments: records preserved in mid- and low- latitude glaciers.* — Kluwer Acad. Publishers, 2004. — P. 3–15.
3. **Котляков В. М.** Избранные сочинения. В 6 кн. Кн. 1: Гляциология Антарктиды. — М.: Наука, 2000. — 423 с.
4. **Schwikowski M.** Reconstruction of European air pollution from Alpine ice core // *Earth Paleoenvironments: Records Preserved in Mid- and Low-Latitude Glaciers.* — Kluwer Acad. Publishers, 2004. — P. 95–119.
5. **Olivier S., Fifield K., Gaggeler H.W. et al.** Plutonium from global fallout recorded in an ice core from the Belukha Glacier, Siberian Altai // *Envir. Sci. Technol.* — 2004. — Vol. 38. — P. 6507–6512.
6. **Oliver S., Schwikowski M., Brütsch S. et al.** Glaciochemical investigation of an ice core from Belukha glacier, Siberian Altai // *J. Geophys. research.* — 2003. — Vol. 30, N 19. — P. 2019–2023.
7. **Oliver S., Blaser C., Brütsch S. et al.** Temporal variations of mineral dust, biogenic tracers and anthropogenic species during the past two centuries from Belukha ice core, Siberian Altai // *J. Geophys. research.* — 2006. — Vol. 111. — P. 77–81.
8. **Фролова Н. С., Зинченко Г. С., Папина Т. С.** Влияние региональных атмосферных процессов на формирование слоев пылевого загрязнения в ледниковых отложениях г. Белуха // *Метеорол. и гидрол.* — 2007. — № 3. — С. 93–99.
9. **Трошкин Д. Н.** Крупномасштабный фоновый перенос минеральных аэрозолей в тропосфере Азиатско-Тихоокеанского региона // *Ползуновский вестник.* — 2006. — С. 251–255.
10. **Trochkin D., Iwasaka Y., Matsuki A. et al.** Aircraft Borne Measurements of Morphology, Chemical Elements, and Number-Size Distributions of Particles in the Free Troposphere in Spring over Japan: Estimation of Particle Mass Concentrations // *J. Arid Land Studies.* — 2002. — Vol. 11–4. — P. 327–335.
11. **Blank M., Leinen M., and Prospero J. M.** Major Asian aeolian inputs indicated by the mineralogy of aerosols and sediments in the Western North Pacific // *Nature.* — 1985. — Vol. 314. — P. 84–86.
12. **Xuan J., Sokolik I. N.** Characterization of Sources and Emission Rates of Mineral Dust in Northern China // *Atmos. Environ.* — 2002. — Vol. 36. — P. 4863–4876.
13. **Zhang J., Liu S. M., Lu X., and Huang W. W.** Characterizing Asian wind-dust transport to the Northwest Pacific Ocean. Direct measurements of the dust flux for two years // *Tellus.* — 1993. — Vol. 45B. — P. 335–345.
14. **Синоптические карты за август 1986 г.** — ЗапСиб РВЦ, г. Новосибирск.
15. **Синоптические карты за сентябрь 1986 г.** — ЗапСиб РВЦ, г. Новосибирск.
16. **Синоптические бюллетени. Северное полушарие. Ч. 1.** — Обнинск, 1987; ВНИИГМИ–МЦД. Август 1986 г.
17. **То же.** Сентябрь 1986 г.
18. **То же.** Октябрь 1986 г.
19. www.ap.altaregion.ru/054-05/2.htm
20. **Жилина Т. Н.** Западная Сибирь в малый ледниковый период (1550–1850 гг.): природа и русская колонизация: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — Томск, 2004. — 22 с.
21. **Чихачев П.** Путешествие в Восточный Алтай. — М.: Наука, 1974. — 258 с.
22. www.bistorg.ru/rucitybis/news/one_news1411-4-8.html
23. www.rubtsovsk.ru/history/regsci01/016.htm

*Институт водных и экологических проблем
СО РАН, Барнаул*

*Поступила в редакцию
3 декабря 2007 г.*