

**М.В. Вычужанина, И.Л. Чурилова, И.П. Паршуткина**

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ЛЕДЯНЫХ ЯДЕР В БАССЕЙНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ**

Приводятся результаты измерений содержания льдообразующих частиц (ледяных ядер) в атмосферном аэрозоле, проведенных в бассейне оз. Байкал в июле 1991 г. Измерения проводились методом фильтров в двух наземных пунктах и во время 7-дневного плавания по южной части озера. Концентрации ледяных ядер в регионе оказались близкими к измеренным ранее в других районах (Молдавия, Чехия) и изменялись в интервале 0,1–5 ядер в литре. Повышенные концентрации были отмечены вблизи промышленно загрязненных населенных пунктов. Наблюдалось влияние на концентрацию метеорологических факторов (осадки, ветер). Вопрос о влиянии макропереноса воздушных масс на формирование концентрации ледяных ядер в регионе требует более длительного цикла измерений.

В течение ряда лет сотрудниками Центральной аэрологической обсерватории проводятся исследования атмосферных льдообразующих аэрозолей в различных регионах России и за рубежом, в результате которых получены данные о концентрациях ледяных ядер в районах активных воздействий (противоградные полигоны Молдавии [2] и Болгарии [3], бассейн озера Севан [1]) и вблизи промышленных городов (г.Градец-Кралове, Чехия, Московская область [6]). Проведение измерений в бассейне оз. Байкал представляло интерес, поскольку оно позволяло получить данные о содержании ледяных ядер в регионе, отличающемся от ранее исследованных как по физико-географическим условиям, так и по характеру антропогенного загрязнения. Химический состав атмосферного воздуха и характеристики антропогенных источников загрязнений бассейна оз. Байкал достаточно хорошо исследованы [4], однако данные о концентрациях облачно-активных ядер в этом регионе отсутствуют.

Особенностью физико-географических условий в Байкальском регионе является наличие сложного рельефа, который способствует вторжению во впадину Байкала воздушных масс с окружающих материковых пространств и обуславливает формирование в районе озера сложной внутренней циркуляции. Антропогенное воздействие на озеро и окружающую атмосферу в основном создают Иркутско-Черемховский территориально-производственный комплекс, Улан-Уденский промузел, Гусиноозерская ГРЭС, Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат. Среди загрязняющих веществ, выбрасываемых этими источниками, значительную часть составляют тяжелые металлы, аэрозоли которых могут проявлять льдообразующие свойства.

В рамках экспедиции <Байкал-91> в июле 1991 г. были проведены измерения концентрации ледяных ядер (ЛЯ) в районе южного Байкала. Измерения проводились вблизи поселка Листвянка, в двух пунктах, находящихся на различной высоте относительно уровня моря: метеостанции <Исток Ангары> (470м) и площадке Телескоп-Сибизмир (800м), а также во время плавания в течение 7 суток на катере вдоль восточного и западного берегов озера Байкал с заходом в реки Ангара и Селенга. Маршрут плавания и местоположение пунктов измерения показаны на рис. 1.

Измерения осуществлялись методом фильтров, в качестве которых использовались ядерные мембраны производства Объединенного института ядерных исследований (г. Дубна) с диаметром пор 0,36 мкм и диаметром фильтра 35 мм. Отбор проб на фильтры, установленные в пробоотборные устройства, производился путем пропускания через них атмосферного воздуха в течение 10 – 12 мин. Общий объем пропущенного через фильтр воздуха составлял в каждом опыте ~ 100 л. В наземных пунктах отбор проб производился с высоты 2,5 м над поверхностью земли, при плавании – с уровня ~1,5 м над бортом судна. После экспонирования фильтр с пробой аэрозоля хранился в специальной кассете, обеспечивающей защиту фильтра от внешних воздействий и загрязнения. Проявление фильтров осуществлялось в стационарных условиях в ЦАО в изотермической диффузионной камере [5] при температуре – 20° С.

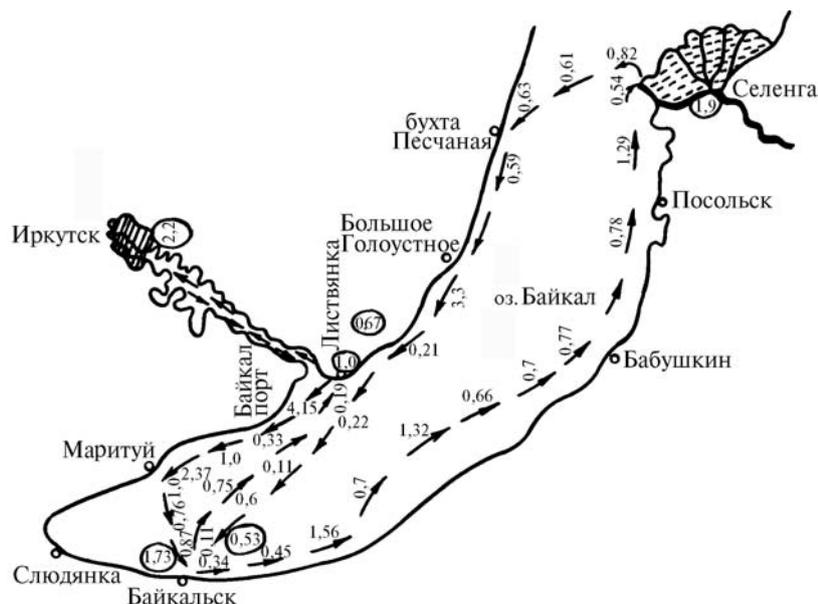


Рис. 1. Измерения атмосферного аэрозоля в районе Южного Байкала в июле 1991 г. Обведенные цифры – средние концентрации ЛЯ в пункте измерения, необведенные – концентрации ЛЯ в точке измерения по маршруту

Измерения, проведенные во время плавания, показали, что концентрации ледяных ядер в различных точках южного Байкала варьируют в пределах порядка величины и лежат в интервале  $0,2 - 5 \text{ л}^{-1}$ . На рис. 1 маршрут показан стрелками. В районе г. Байкальска (целлюлозно-бумажный комбинат), где измерения проводились с катера, стоявшего на рейде на расстоянии  $0,5 \text{ км}$  от города, были зафиксированы значительные колебания концентраций ЛЯ во времени. При переносе воздушных масс с озера концентрация ледяных ядер составляла  $0,5 - 0,6 \text{ л}^{-1}$ , при ветрах с берега она увеличивалась в среднем до  $1,7 \text{ л}^{-1}$  (в отдельных случаях до  $3 - 5 \text{ л}^{-1}$ ). На маршруте вдоль восточного и западного берегов озера концентрация ледяных ядер оставалась практически постоянной и составляла  $0,5 - 0,7 \text{ л}^{-1}$ , при этом с удалением от берегов на  $10 - 15 \text{ км}$  она снижалась до  $0,2 - 0,3 \text{ л}^{-1}$ . Во время плавания по реке Ангаре, в районе г. Иркутска, отбор проб производился при СЗ переносе воздушных масс. Концентрации ледяных ядер достигали  $3,8 \text{ л}^{-1}$  (в среднем  $2,2 \text{ л}^{-1}$ ). Повышенные концентрации ЛЯ могли быть связаны с близко расположенными промышленными источниками загрязнения. На р. Селенге измерения были произведены в устье реки (при заходе и выходе) и на расстоянии  $\sim 20 \text{ км}$  от устья, вблизи п. Шугаево. Концентрация ЛЯ у п. Шугаево были значительно выше (от  $1,3$  до  $2,8 \text{ л}^{-1}$ , в среднем  $1,9 \text{ л}^{-1}$ ), чем в районе устья, где они составляли  $0,8 - 1 \text{ л}^{-1}$ .

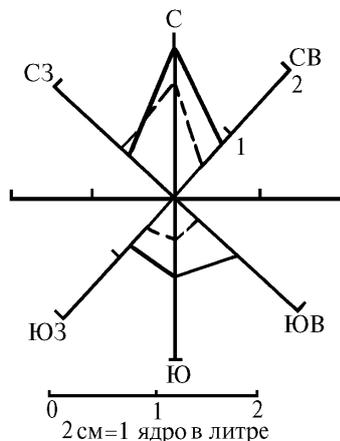


Рис. 2. Зависимость концентрации ЛЯ от направления ветра на пунктах измерения: сплошная линия – <Метеостанция>, штриховая – <Телескоп>

Измерения ледяных ядер, проводившиеся в течение 6 дней в двух наземных пунктах, показали, что концентрации ледяных ядер на приподнятом пункте <Телескоп> в среднем на 30% ниже концентраций ЛЯ, измеренных на <Метеостанции>. На рис. 2 измеренные концентрации представлены в зависимости от направления ветра. На обоих пунктах выделялось северное направление, при котором концентрации ЛЯ возрастали и составляли 1,2–1,3 л<sup>-1</sup>. При южных переносах концентрации ЛЯ снижались до 0,3–0,5 л<sup>-1</sup> на площадке <Телескоп> и до 0,9–1 л<sup>-1</sup> на <Метеостанции>. Совпадение направлений повышенной концентрации на двух пунктах позволяет предположить наличие общего удаленного источника ледяных ядер для этого района.

На рис. 3, а представлены результаты одновременных ежедневных измерений ледяных ядер на пунктах <Метеостанция> и <Телескоп> 12–13 июля (измерения на площадке <Телескоп> по техническим причинам были проведены со сдвигом во времени на 10 ч). Изменения содержания ледяных ядер в атмосфере в течение этих дней были связаны как с естественным суточным ходом концентрации атмосферного аэрозоля, так и с изменением метеорологических условий. Солнечная погода со слабым неустойчивым ветром южных направлений наблюдалась 12 июля. Концентрация ледяных ядер на <Метеостанции> медленно повышалась от 8<sup>00</sup> до 12<sup>00</sup> ч и затем постепенно снижалась, составив в 17<sup>00</sup> примерно 1 ядро в литре. После 22<sup>00</sup> резко изменились метеоусловия: увеличилась облачность, прошел дождь, направление ветра изменилось на северное. Концентрации ЛЯ возросли до 1,8–1,9 л<sup>-1</sup> и только к 8<sup>00</sup>, 13 июля, снизились до 1 л<sup>-1</sup>. На площадке <Телескоп>, в период одновременных измерений, изменения концентрации ЛЯ имели тот же ход.

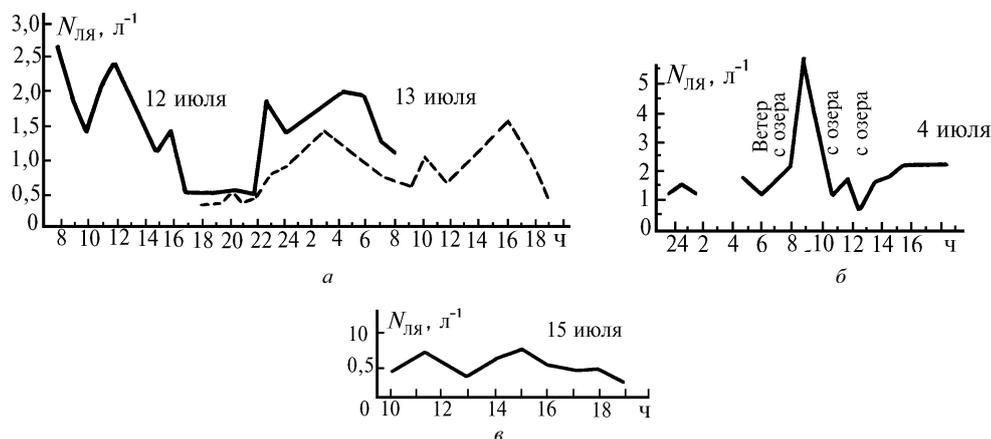


Рис. 3. Суточный ход содержания ЛЯ в пунктах измерения: а – 12–13 июля: сплошная линия <Метеостанция>, штриховая – <Телескоп>; б – 4 июля, г. Байкальск; в – 15 июля – пункт <Метеостанция>

На рис. 3, б показан суточный ход концентрации ЛЯ вблизи г. Байкальска. Как видно на рисунке, в этом районе он целиком определялся изменением направления ветра. Повышенные концентрации ледяных ядер наблюдались при переносах воздушных масс с берега.

На рис. 3, в представлен ход концентрации ледяных ядер на площадке <Метеостанция> за 15 июля, когда в течение всего дня наблюдалось выпадение осадков. Концентрации ледяных ядер в течение дня оставались на постоянном низком уровне ~ 0,5 л<sup>-1</sup>.

#### Средние концентрации ЛЯ в различных регионах

Регион	Год измерения	Концентрация, л <sup>-1</sup>
Байкал	1991	1,04
Молдавия	1985–89	1,6
Чехия	1989	1,1

В целом полученные данные позволяют сделать вывод, что средние концентрации ледяных ядер в районе Южного Байкала лежат вблизи 1 ядра в литре. Это совпадает с результатами измерений концентраций ледяных ядер, выполненных сотрудниками ЦАО ранее методом фильтров в летние периоды в Молдавии и Чехии [1], и свидетельствует о том, что район Бай-

кала близок по льдообразующим характеристикам аэрозоля к сельским местностям Европейских регионов (таблица).

На содержание ледяных ядер в атмосфере региона оказывают определенное влияние местные промышленные центры, увеличивая концентрации ЛЯ до порядка величины.

Вопрос о влиянии макропроцесса воздушных масс на формирование концентрации ледяных ядер в регионе требует более длительного цикла измерений.

1. Вычужанина М.В., Зотов Е.И., Паршуткина И.П. и др. // Тр. Всесоюз. семинара. М., 1991. С. 185–190.
2. Константинов П.Г., Вычужанина М.В., Грачев В.А. и др. // Гидрология и метеорология. Болгария, 1988. Т. 23. № 3. С. 63–67.
3. Власюк М.П., Вычужанина М.В., Паршуткина И.П. // Тр. ЦАО. М.: Гидрометеиздат, 1992. Вып. 177. С. 143–159.
4. Мониторинг состояния оз. Байкал / Под ред. Ю.А. Израэля, Ю.А. Анохина. Л.: Гидрометеиздат, 1991. С. 11–14.
5. Богданова С.Л. // Тр. ЦАО. М.: Гидрометеиздат, 1988. № 171. С. 95–105.
6. Vychuzhanina M.V., Grishina N.P., Parshutkina I.P. et al. // J. Aerosol. Sci. V. 20. N 8. 1989. P. 1237–1240.

Центральная аэрологическая обсерватория,  
г. Долгопрудный

Поступила в редакцию  
28 марта 1994 г.

**M.V. Vychuzhanina, I.L. Churilova, I.P. Parshutkina. Some Results of the Investigation of Ice Nuclei in the Atmosphere over Lake Baikal.**

In this paper we present some results of the investigation of ice nuclei in the atmosphere carried out on Lake Baikal in July, 1991. Measurements were performed using filter technique at two stationary points and during a 7-day mission on board a ship in the southern part of Lake Baikal. Measurement results showed that the concentration of the ice nuclei in the region under study was close to that measured in other geographical regions (Moldova and Chekhia) and varied from 0,1 to 5 nuclei per liter. Enhanced concentrations of the nuclei were observed in the regions near centers of industrial activity. We also observed some influence of such meteorological factors as precipitations and wind on the concentration of ice nuclei in the atmosphere. The question on the effect of macroscopic transport of air mass on the concentration of ice nuclei in the region requires an additional and more long investigations.