

М. Н. ШИМАРАЕВ

**ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ ФАКТОРЫ ИЗМЕНЕНИЙ
ЛЕДОВО-ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА БАЙКАЛА**

Рассмотрено влияние Северо-Атлантического колебания (NAO) на внутривековые изменения ледово-термических процессов на Байкале в XX столетии. Установлено, что наибольшим оно оказалось в 1970–1995 гг., и это связано с одновременным возрастанием индексов NAO и падением активности Сибирского максимума высокого давления. Показано, что в последующие годы при снижении активности NAO температура воды постепенно уменьшалась, наметилась тенденция к более раннему замерзанию и более позднему вскрытию ледяного покрова.

The influence of the North-Atlantic Oscillation (NAO) on intrasecular changes of the ice-thermal processes on Baikal during the 20th century is examined. It is established that the greatest influence corresponds to the time interval 1970–1995, and this is attributed to the increase in NAO indices concurrent with the decline in activity of the Siberian high pressure maximum. It is shown that with a decrease in NAO activity in subsequent years, water temperature was gradually decreasing, with the tendency toward earlier freeze-up and later break-up dates.

Результатом глобального потепления в XX столетии стали постепенное повышение температуры воздуха (особенно зимой и весной), а также сокращение продолжительности зимнего ледостава на Байкале [1–4], рост температуры верхних слоев воды летом [5–8]. На фоне «векового» тренда в изменении этих характеристик выделяются низкочастотные (внутривековые) колебания с продолжительностью 10–30 лет [4], которые должны определяться в основном изменчивостью атмосферной циркуляции Северного полушария.

Одним из ведущих механизмов, с которым связаны крупномасштабные аномалии температуры воздуха на обширной территории Евразии, является североатлантическое колебание (NAO) [9, 10]. Его усиление зимой сопровождается положительными аномалиями температуры в средних и высоких широтах за счет возрастания циклонической активности и зонального (с запада на восток) переноса воздушных масс. Изменения активности NAO находят отражение в динамике ледового режима, что показано при анализе этих явлений у пос. Листвянка в Южном Байкале [11, 12]. Опубликованы также сведения о сходстве тенденций изменения NAO и температуры воды в близлежащем районе (у пос. Бол. Коты) [13].

С учетом различий погодно-климатических условий в пределах Байкала, связанных с его широтной протяженностью почти на 4° [1], интерес представляют пространственные (в пределах озера) особенности проявления влияния NAO на термические процессы. С научной и практической точек зрения не менее важен и вопрос о временных особенностях этого влияния в условиях значительных вариаций процессов циркуляции атмосферы с конца XIX до начала XX столетия [10]. В работе рассмотрены внутривековые изменения температуры воды и отдельных ледовых явлений в связи с изменением индексов NAO, а также Сибирского максимума высокого давления (Sh) — сезонного центра действия атмосферы Северного полушария, под непосредственным влиянием которого находится регион Байкала.

Температура поверхности воды характеризуется наблюдениями с 1941 по 2005 г. в пос. Листвянка, на гидрометеостанциях Танхой и Бабушкин (Южный Байкал), Узур на о. Ольхон (Средний Байкал), станциях о. Бол. Ушканий, Солнечная на границе Среднего и Северного Байкала и Нижнеангарск в северной оконечности озера. По Листвянке они дополнены результатами расчета температуры воды (T_v) по связи с температурой воздуха (T_a) за период 1896–1940 гг. [5, 7]. Из-за больших уклонов дна озера данные станций характеризуют T_v в прилегающей глубоководной части озера. Как показали результаты расчетов температуры водной толщи по методике В. И. Верболова и др. [1], межгодовые изменения T_v на станциях в достаточной мере отражают и ее колебания в верхнем (до 200–300 м) слое воды в озере [7, 8]. Используются также данные о ледовых явлениях в Листвянке (с 1896 по 2006 г.) и на других станциях (с 1940–1950 гг. по 2004 г.). Сведения о температуре воздуха в 1896–2005 гг. приняты по наблюдениям на ст. Бабушкин (Южный Байкал).

Для анализа привлечена информация о месячных индексах NAO в 1896–2006 гг. [8, 14, 15], которые представляют нормализованную величину разности приведенного к уровню моря атмосферного давления в районе Азорского максимума и Исландского минимума. Индексы характеризуют условия

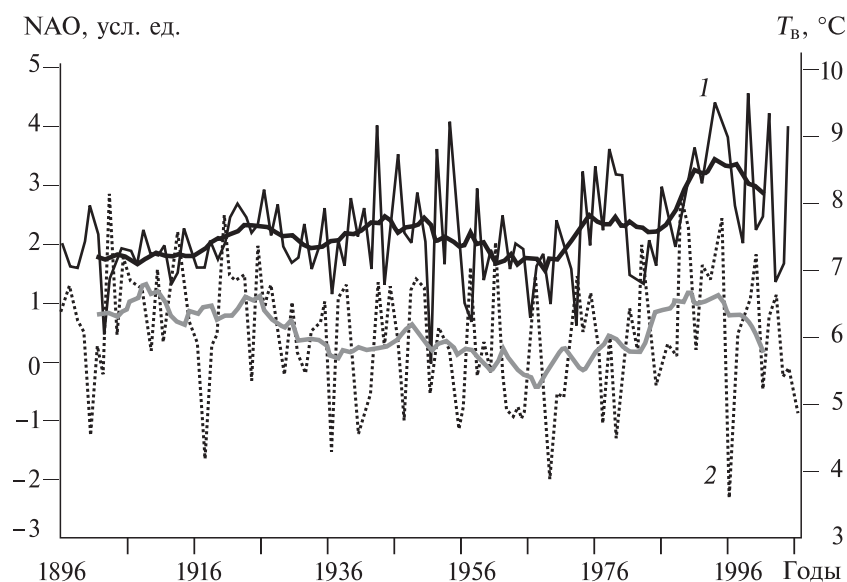


Рис. 1. Средняя в мае–сентябре температура поверхности воды у пос. Листвянка (1) и индекс NAO в декабре–марте (2), 1896–2005 гг. (ежегодные и 11-летние скользящие значения).

развития зонального переноса воздушных масс в Северном полушарии, который усиливается при возрастании индексов NAO и ослабевает при понижении. Сведения о Sh в 1920–2002 гг. приняты по осредненным для 10 станций данным об атмосферном давлении на уровне моря в районе 40–65° с. ш., 80–120° в. д. [16], а также об аномалиях давления в районе 40–60° с. ш., 70–120° в. д. за близкий период [17]. Внутривековые колебания характеристик выделены путем сглаживания рядов 11-летним скользящим осреднением. Информация о температуре воды использована в виде средних ее значений за период весенне-летнего прогрева (май–сентябрь). Рассматривались сроки перехода температуры через значения в 1, 4 и 10 °C, характеризующие соответственно продолжительность прогрева озера в условиях чистой воды, время окончания весенней и осенней гомотермии и границы периода с наиболее высоким прогревом озера.

Отметим основные особенности изменения температуры поверхности воды в 1896–2006 гг. по данным для Листвянки (рис. 1). Средняя за период прогрева (май–сентябрь) температура поверхности воды ($T_{\text{BV-IX}}$) повышалась с трендом 0,085 °C/10 лет (уровень значимости $p < 0,01$). Выделено два полных внутривековых цикла $T_{\text{BV-IX}}$: один — 1902–1936 гг., второй — 1937–1969 гг. с фазой длительного и значительного (на 0,35 °C/10 лет, $p = 0,01$) понижения в 1941–1969 гг. В 1970–1995 гг. на фазе подъема текущего цикла происходил наиболее значительный рост $T_{\text{BV-IX}}$ (на 0,54 °C/10 лет, $p < 0,05$), которая в 1990-е гг. достигала самых высоких значений за весь период. Подъем температуры сменился падением в 1996–2005 гг. с большим (–1 °C за 10 лет), но мало значимым ($p > 0,1$) трендом. Аналогичные тенденции изменения $T_{\text{BV-IX}}$ во второй половине XX–начале XXI столетия имели место в остальных районах озера.

Аномальное потепление во второй половине XX столетия привело и к другим заметным изменениям температурного режима. По данным наблюдений 1941–2005 гг. прогрев Байкала начинался раньше — весной и в начале лета значимый тренд сроков перехода $T_{\text{в}}$ через 1, 4 и 10 °C составил соответственно –2,4; –1,3 и –0,5 сут за 10 лет, а вторичный осенью запаздывал на 1,4; 1,8 и 1,5 сут за 10 лет. В результате период с $T_{\text{в}} > 1$ °C возрос на 26, с прямой стратификацией — $T_{\text{в}} > 4$ °C — на 19, а с $T_{\text{в}} > 10$ °C на 11 дней (рис. 2). Весенняя гомотермия, с окончанием которой начинается активный прогрев верхних слоев воды, стала заканчиваться на 8 дней раньше, а осенняя — на 11 дней позднее.

По данным глубоководных измерений в 1970–1990-е гг. повышение температуры было заметно в верхних 200–300 м, тогда как в более глубоких и придонных слоях тренд ее роста отсутствовал [7, 8]. Это связано с регулярным обновлением вод этих слоев весной и в начале зимы интрузиями холодной (3,0–3,2 °C) воды из верхней части водной толщи, вызываемыми эффектом термобарической неустойчивости [18–20].

Для выяснения причин внутривековых изменений температуры воды рассмотрена связь сглаженных значений $T_{\text{BV-IX}}$ с аналогичными значениями средних за май–сентябрь и декабрь–март индексов NAO. Предварительный анализ показал, что она устойчиво положительна с ноября по апрель, особенно в декабре–марте, и отрицательна в мае–сентябре.

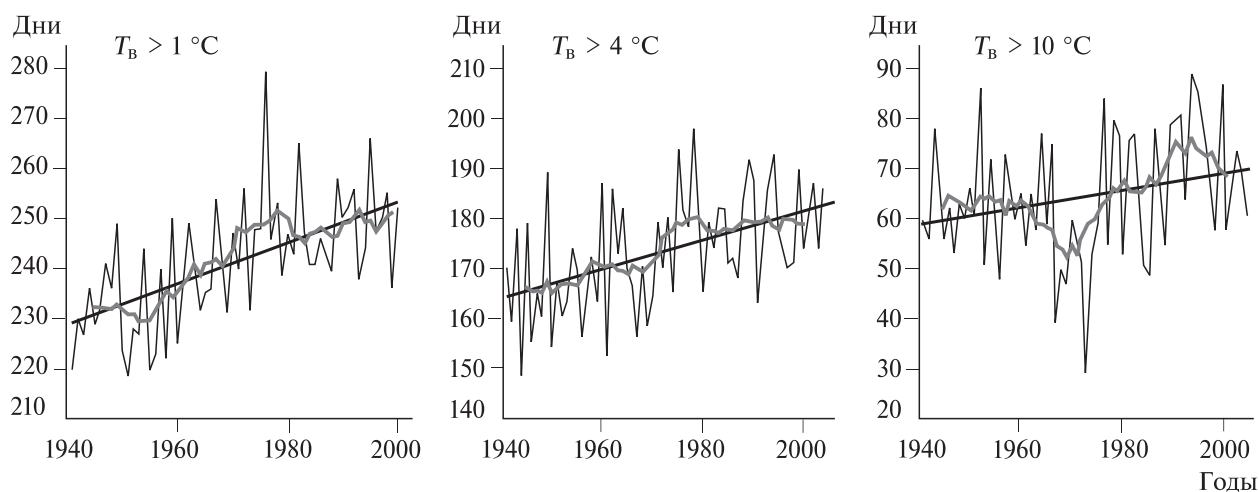


Рис. 2. Продолжительность периодов с температурой выше 1, 4 и 10 °С за 1941–2005 гг. по наблюдениям в Листвянке (ежегодные и 5-летние скользящие значения).

Для периода 1896–2005 гг. связь между $T_{в-IX}$ в Листвянке и индексами летнего NAO отрицательна ($r = -0,52 \pm 0,07$, $p = 0,001$), хотя характер ее меняется во времени. Она практически отсутствует в 1896–1939 гг. ($r = 0,34 \pm 0,15$, $p = 0,05$), становится значимой в 1940–1969 гг. ($r = -0,64 \pm 0,12$, $p = 0,01$) с усилением ее в 1970–2005 гг. ($r = -0,76 \pm 0,08$, $p = 0,001$). Для сравнимого периода наблюдений (1952–2005 гг.) на всех байкальских станциях связь имеет такой же характер (табл. 1). Аналогично в 1896–2005 гг. меняются и показатели связи с NAO средней для мая–сентября температуры воздуха: в 1896–1939 гг. $r = 0,34 \pm 0,15$, $p = 0,05$; в 1940–1969 гг. $r = -0,65 \pm 0,13$, $p = 0,01$; в 1970–2005 гг. $r = -0,92 \pm 0,03$, $p = 0,001$. Причина обратной связи $T_{аV-IX}$ и $T_{вV-IX}$ с индексами NAO летом во второй половине XX–начале XXI столетия может заключаться в том, что усиливающаяся с ростом NAO адвекция в регион Байкала более прохладных, хотя и трансформированных над Азиатским континентом воздушных масс из Атлантики должна уменьшать эффект радиационного прогрева приземного слоя воздуха и вод озера, тогда как при ее ослаблении роль радиационного фактора должна возрастать.

В то же время хорошо заметна положительная связь между внутривековыми колебаниями $T_{вV-IX}$ и индексов зимнего NAO (см. рис. 1), усиливающаяся в период инструментальных измерений $T_{в}$ в 1941–2005 гг. (для Листвянки $r = 0,80 \pm 0,05$, $p < 0,001$). Синхронность колебаний NAO и температуры воды обнаруживается во всех частях Байкала, причем самые высокие коэффициенты корреляции приходятся на центральную часть озера (станции Узур, Солнечная, о. Бол. Ушканий) (см. табл. 1). Наличие такой связи свидетельствует о косвенном влиянии зимних атмосферных процессов на температурный режим озера летом. Механизм влияния — воздействие NAO на температуру воздуха в Сибири и Байкальском регионе зимой, и как следствие, на развитие зимних и весенних ледовых процессов и время начала активного прогревания озера после вскрытия ледяного покрова.

При высоких индексах североатлантического колебания зимой наблюдается тенденция к сильным западным ветрам из Северной Атлантики и положительным аномалиям температуры воздуха в Северной Европе и большей части Центральной Азии, тогда как при низких индексах имеет место обратная ситуация [9]. В период 1936–1989 гг. сильный сигнал NAO был прослежен в сроках вскрытия ледяного покрова [11], а в 1950–1996 гг. — еще и в толщине льда у пос. Листвянка в Южном Байкале [12]. Этот сигнал хорошо обнаруживается в 1951–2004 гг. во всех частях Байкала (табл. 2). С учетом информации последних лет можно заключить, что влияние NAO в конце XX и начале XXI столетия сохранилось и даже усилилось. На это указывает полное совпадение тенденций изменения NAO и $T_{а}$ в декабре–марте 1970–2005 гг. ($r = 0,90$), NAO и сроков вскрытия ледяного покрова в Южном Байкале в 1950–2006 гг. ($r = -0,52 \pm 0,10$, $p = 0,001$ для ежегодных и $r = -0,94$ для сглаженных значений характеристик).

В свою очередь, время вскрытия непосредственно отражается на прогреве водной толщи из-за различий в альbedo воды и льда. Весной через байкальский лед, при средних значениях его альbedo 29–49 % [1] и пропускающей способности не более 40 % [21, 22], в воду проникает всего 20–28 %, а через свободную поверхность воды при ее альbedo 6 % [23] — 94 % от поступающей солнечной радиации. В мае, когда поток солнечной радиации близок к максимальному за год, дополнительный приход тепла для открытой воды по сравнению с ее полным покрытием льдом превышает 13 МДж/м² в

Таблица 1

Коэффициенты корреляции связи годовых и сглаженных значений $T_{вV-IX}$ с летними и зимними индексами NAO в 1952–2005 гг.

Данные	Гидрометеорологические станции						
	Листвянка	Танхой	Бабушкин	Узур	о. Бол. Ушканий	Солнечная	Нижнеангарск
	NAO V–IX						
Ежегодные	–0,314	–0,339	–0,316	–0,136	–0,064	–0,136	–0,175
Сглаженные	–0,771	–0,860	–0,848	–0,705	–0,681	–0,747	–0,751
	NAO XII–III						
Ежегодные	0,343	0,152	0,206	0,285	0,319	0,349	0,078
Сглаженные	0,804	0,808	0,742	0,928	0,931	0,908	0,870

Примечание. Здесь и в табл. 2 шрифтом выделены значимые ($p < 0,05$) коэффициенты корреляции. Значения T_v для Нижнеангарска получены в июне–сентябре.

Таблица 2

Связь годовых и сглаженных значений сроков вскрытия ледяного покрова с индексами NAO XII–III в 1951–2004 гг.

Данные	Гидрометеорологические станции						
	Листвянка	Танхой	Бабушкин	Узур	о. Бол. Ушканий	Солнечная	Нижнеангарск
Ежегодные	–0,316	–0,353	–0,274	–0,316	–0,491	–0,304	–0,432
Сглаженные	–0,597	–0,874	–0,850	–0,883	–0,851	–0,865	–0,897

Таблица 3

Коэффициенты корреляции годовых и сглаженных значений $T_{вV-IX}$ и сроков вскрытия ледяного покрова в 1952–2005 гг.

Данные	Гидрометеорологические станции						
	Листвянка	Танхой	Бабушкин	Узур	о. Бол. Ушканий	Солнечная	Нижнеангарск
Ежегодные	–0,432	–0,611	–0,618	–0,519	–0,631	–0,545	–0,377
Сглаженные	–0,904	–0,951	–0,940	–0,951	–0,935	–0,955	–0,925

Примечание. Уровень значимости коэффициентов корреляции $p < 0,001$, для годовых данных Нижнеангарска $p < 0,01$.

Таблица 4

Связь сглаженных значений ледово-термических характеристик (пос. Листвянка) с индексом NAO в декабре–марте 1941–2005 гг. ($p < 0,001$)

Показатели	Уравнение связи	R^2	r
$T_{аXII-III}$	$1,66x - 13,2$	0,6279	$0,79 \pm 0,05$
Толщина льда, см	$-8,5x + 89$	0,6132	$0,78 \pm 0,06$
Время вскрытия	$-9,3x + 8,8$	0,8827	$-0,94 \pm 0,02$
$T_{вV-IX}$	$0,88x + 7,38$	0,6389	$0,80 \pm 0,05$
Время перехода T_v через 1 °C (от 1 мая)	$-6,84x + 5,92$	0,5356	$-0,73 \pm 0,06$
Время перехода T_v через 4 °C (от 1 мая), период, дни:	$-4,74x + 27,73$	0,4681	$-0,68 \pm 0,07$
с $T_v > 1$ °C	$7,46x + 239$	0,2538	$0,50 \pm 0,10$
с $T_v > 4$ °C	$6,77x + 170,5$	0,3725	$0,61 \pm 0,08$
с $T_v > 10$ °C	$10,23x + 59,90$	0,7214	$0,85 \pm 0,04$
Связь $T_{вV-IX}$ с временем вскрытия в Южном Байкале (1951–2005 гг.)	$-0,076x + 8,11$	0,8292	$-0,91 \pm 0,02$

Примечание. Время вскрытия (в днях от 1 мая) получено как среднее из наблюдений четырех станций Южного Байкала (без данных Листвянки).

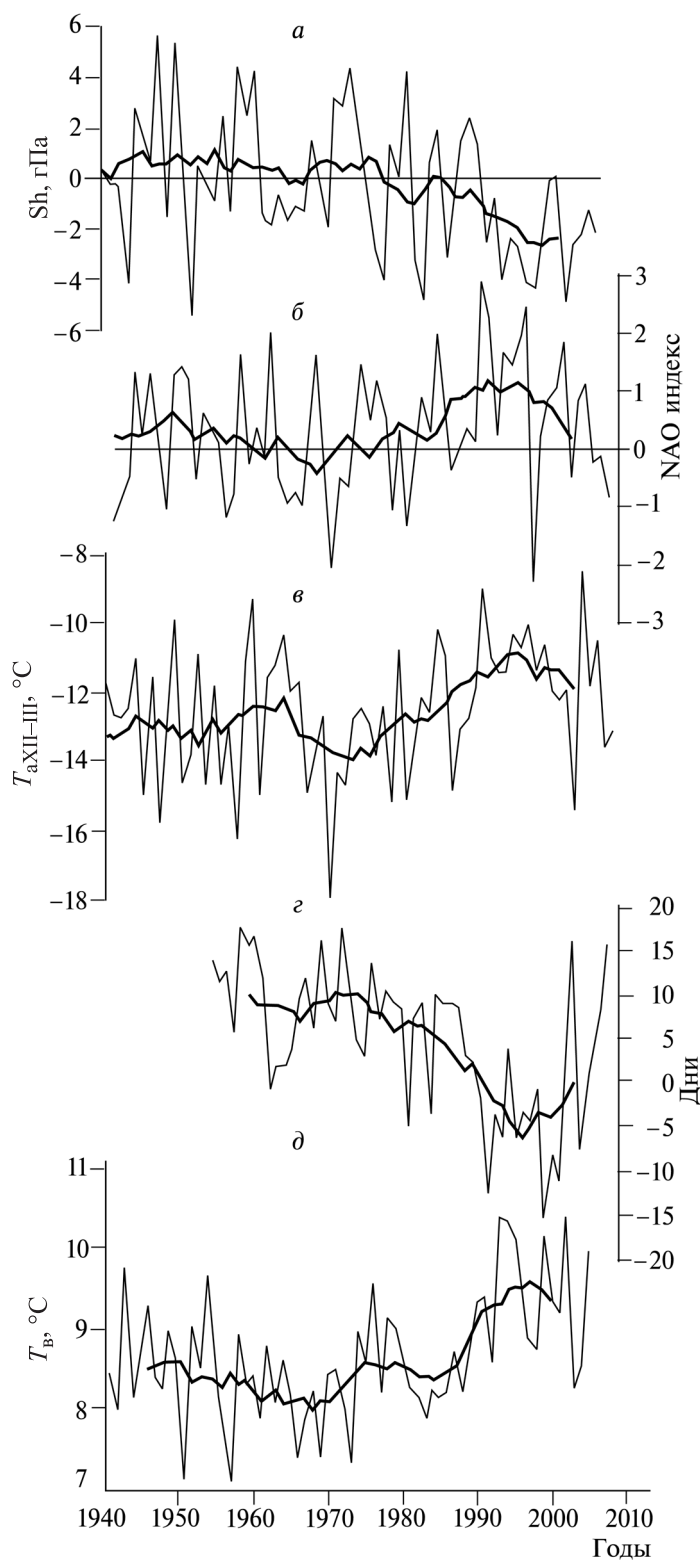


Рис. 3. Циркуляционные показатели и элементы ледово-термического режима в Южном Байкале, 1941–2006 гг.

a — аномалии атмосферного давления (Sh) зимой в области Сибирского максимума по данным [3]; *б* — средний индекс NAO в декабре–марте; *в* — средняя температура воздуха в декабре–марте на ст. Бабушкин; *з* — сроки вскрытия ледяного покрова в Южном Байкале (отклонения в днях от 1 мая); *д* — средняя в мае–сентябре температура поверхности воды в Южном Байкале (ежегодные и 11-летние сглаженные значения).

сут. В 1941–2005 гг. более раннему (на 15 сут) вскрытию Южного Байкала соответствовало дополнительное поступление в мае около 200 МДж/м², что соответствует прогреву слоя воды 0–25 м на 1,8 °С. Одновременно смещались на более ранние сроки весной и летом даты перехода T_B через значения 1, 4 и 10 °С, связь которых со сроками вскрытия характеризовалась значимыми коэффициентами корреляции (–0,82; –0,78 и –0,88 соответственно).

Четкая зависимость T_{B-V-IX} от времени вскрытия хорошо заметна по данным всех байкальских станций (табл. 3). В конечном итоге влияние NAO на зимние и весенние ледовые процессы отразилось и на характере изменения других показателей температурного режима (табл. 4). Отметим, что роль вскрытия во внутривековой изменчивости T_B проявляется значительно сильнее по сравнению с такими характеристиками ледового периода, как его продолжительность и время замерзания. Так, в интервал времени наиболее сильных изменений ледово-термических условий (1970–2005 гг.) по данным для Листвянки коэффициент корреляции связи T_{B-V-IX} с вскрытием составил $-0,79 \pm 0,08$, тогда как с замерзанием и продолжительностью ледостава $-0,45 \pm 0,14$ и $-0,64 \pm 0,11$ соответственно.

Результаты анализа показывают, что внутривековые изменения NAO и температуры воздуха зимой влияют на время вскрытия ледяного покрова и, как следствие, на температуру верхнего слоя весной и летом во всех частях озера. Это прямо отражается на приходе тепла в озеро, а также на сроках установления прямой стратификации и начала активного прогрева верхних слоев воды. Менее заметно воздействие на изменения T_B летнего NAO. Так, дисперсия индексов NAO зимой (1,17 для текущих и 0,169 для сглаженных значений) существенно больше, чем летом (соответственно 0,305 и 0,038). С учетом полученных для Листвянки уравнений связи T_{B-V-IX} с зимними ($y = 0,77x + 7,53$, $r = 0,78$) и летними ($y = -1,482x + 7,67$, $r = -0,73$) индексами североатлантического колебания можно оценить роль зимнего NAO во внутривековых изменениях T_{B-V-IX} — она проявляется примерно в четыре раза сильнее, чем летнего. Это означает, что циркуляционные условия холодного полугодия играют основную роль в формировании внутривековой изменчивости температуры верхних слоев воды Байкала в теплую часть года.

Как показано выше, влияние NAO на ледово-термические процессы на Байкале мало заметно в начале XX столетия и усилилось к концу, что отмечалось ранее для сроков вскрытия [11]. Наряду с зональной циркуляцией одним из основных факторов формирования термического режима Евразии в холодное полугодие является Сибирский максимум высокого давления или Сибирский антициклон, блокирующий поступление более теплых воздушных масс из Атлантики. Его интенсивность и положение в значительной степени определяют направление и мощность адвекции тепла (холода) на обширной территории Сибири, включая и район Байкала [8].

Информация об атмосферном давлении в Сибирском антициклоне свидетельствует об исключительно сильном его ослаблении в конце XX столетия (рис. 3, а). Если с 1922 г. до начала 1970-х гг. атмосферное давление менялось незначительно (тренд $+0,16$ гПа/10 лет), то далее, до 1995 г., происходило его быстрое падение (тренд $-2,15$ гПа/10 лет) [17]. Резкое ослабление Сибирского антициклона с начала 1970-х гг. наряду с одновременным усилением зональной циркуляции создавало более благоприятные, чем в предшествующий период, условия для проникновения в центр Сибири теплых воздушных потоков из Атлантики. Это определило возросшее влияние NAO на ледово-термические процессы на Байкале в 1970–2005 гг., тогда как в более ранние годы при относительно стабильном состоянии Сибирского антициклона оно проявлялось менее заметно. Тенденции изменения индексов NAO и Sh в 1970–2005 гг. характеризуются тесной обратной зависимостью ($r = -0,84$). С атмосферным давлением в Сибирском максимуме (Sh, в гПа) оказываются связаны как сроки вскрытия ($D_{\text{вскр}} = 2,4865\text{Sh} - 2554,4$, откл. в днях от 1 мая, $r = 0,93$), так и температура воды летом ($T_{\text{в}} = -0,253\text{Sh} + 268,52$, $r = -0,67$). Причины отмеченного ослабления Сибирского максимума высокого давления в 1970–1995 гг. недостаточно ясны. Это могло быть вызвано усилением зональной циркуляции [10], в то же время некоторые исследователи предполагают, что это следствие постепенного прогрева Азиатского континента при глобальном потеплении [24].

Отметим, что в 1996–2006 гг. положительный знак индексов зимнего NAO сменился отрицательным (см. рис. 3, б), что сопровождалось изменением тенденции в ходе ледово-термических характеристик. По наблюдениям на байкальских станциях и спутниковым данным отмечен переход к постепенному понижению температуры воздуха зимой, более ранним замерзаниям и поздним вскрытиям [25], уменьшению температуры воды летом (см. рис. 3, в–д). Эти изменения могут отражать развитие фазы спада в текущем внутривековом цикле климата, вызванной некоторым ослаблением зональной циркуляции в средних и высоких широтах Евразии. Вместе с тем, наблюдавшееся зимой 2006–2007 гг. усиление зональных процессов с исключительно сильным потеплением, в том числе и в районе Байкала, возможно, свидетельствует об окончании этой фазы и о переходе к развитию нового внутривекового цикла в изменении барико-циркуляционных условий и ледово-термических процессов.

Таким образом, наблюдаемые в пределах всего Байкала внутривековые колебания сроков вскрытия и температуры воды испытывают воздействие изменений активности NAO в зимние месяцы, которое проявлялось неодинаково с конца XIX до начала XXI столетия. Оно существенно усилилось в конце XX в. в условиях происшедшего одновременно роста индексов североатлантического колебания и ослабления основного зимнего барического образования над Сибирью — Сибирского антициклона.

Сочетание усиления NAO с ослаблением Сибирского антициклона можно считать основной причиной возросшего влияния NAO на ледово-термические процессы на Байкале с начала 1970-х до середины 1990-х гг., которое привело к быстрому повышению температуры воды и сокращению продолжительности ледостава за счет более позднего замерзания озера и более раннего вскрытия ледяного покрова. В последующий период 1996–2006 гг. тенденция характеристик ледово-термического режима изменилась по знаку, что согласуется с уменьшением активности североатлантического колебания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Верболов В. И., Сокольников В. М., Шимараев М. Н.** Гидрометеорологический режим и тепловой баланс озера Байкал. — М.; Л.: Наука, 1965.
2. **Шимараев М. Н., Куимова Л. Н., Цехановский В. В.** Многолетние изменения ледово-термического режима на Байкале // Мониторинг и оценка состояния Байкала и Прибайкалья. — Л.: Гидрометеоздат, 1991.
3. **Куимова Л. Н., Шерстянкин П. П.** Изменения климата на Байкале и их связь с глобальными изменениями (Global Change) // Региональные последствия глобальных изменений климата и загрязнений природной среды. — Байкальск, 1998. — Ч. 1.
4. **Шимараев М. Н., Куимова Л. Н., Синюкович В. Н., Цехановский В. В.** О проявлении на Байкале глобальных изменений климата в XX столетии // Докл. РАН. — 2002. — Т. 383, № 3.
5. **Шимараев М. Н., Домьшцева В. М.** О динамике содержания растворенного кремния в озере Байкал // Докл. РАН. — 2002. — Т. 387, № 4.

6. **Троицкая Е. С., Шимараев М. Н., Цехановский В. В.** Многолетние изменения температуры поверхности воды в Байкале // География и природ. ресурсы. — 2003. — № 2.
7. **Шимараев М. Н., Троицкая Е. С.** Изменения температурного режима озера Байкал в период глобального потепления климата в XX столетии // Труды VI конференции «Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей». — М., 2004.
8. **Троицкая Е. С.** Пространственно-временная изменчивость термических процессов в Байкале: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — Иркутск, 2005.
9. **Hurrell J. W.** Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitation // Science. — 1995. — Vol. 269.
10. **Попова В. В., Шмакин А. Б.** Циркуляционные механизмы крупномасштабных аномалий температуры воздуха зимой в Северной Евразии в конце XX столетия // Метеорол. и гидрол. — 2006. — № 12.
11. **Livingstone D. M.** Ice break-up on southern Lake Baikal and its relationship to local and regional air temperatures in Siberia and to the North Atlantic Oscillation // Limnol. Oceanogr. — 1999. — Vol. 44 (6).
12. **Todd M. C., Mackay A. W.** Large-scale climate controls on Lake Baikal ice cover // J. Climatol. — 2003. — Vol. 16.
13. **Измestьева Л. Р., Хэмптон С., Мур М. и др.** Тенденции изменения температурного режима озера Байкал и индекс североатлантических колебаний (NAO) // Тезисы докл. IX съезда Гидробиол. об-ва РАН. — Тольятти, 2006.
14. **Jones P. D., Jonsson T. and Wheeler D.** Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and South-West Iceland // J. Climatol. — 1997. — Vol. 17.
15. **Climate Prediction Center of National Weather Service.** — <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/>
16. **Panagiotopoulos F., Shahgedanova M., Hannachi A., Stephenson D. B.** Observed Trends and Teleconnections of the Siberian High: a Recently Declining Center of Action // J. Climatol. — 2005. — Vol. 18 (9).
17. **Gong D.-Y., Ho C.-H.** The Siberian High and climate change over middle to high latitude Asia // Theoretical and Applied Climatol. — 2002. — Vol. 72.
18. **Шимараев М. Н., Гранин Н. Г.** К вопросу о стратификации и механизме конвекции в Байкале // Докл. АН СССР. — 1991. — Т. 321, № 2.
19. **Weiss R. F., Carmack E. C., Koropalov V. M.** Deep-water renewal and biological production in Lake Baikal // Nature. — 1991. — № 6311.
20. **Wuest A., Rawens T. M., Granin N. G. et al.** Cold intrusion in Lake Baikal: direct observational evidence for deep-water renewal // Limnol. Oceanogr. — 2005. — Vol. 50 (1).
21. **Сокольников В. М.** Радиационные свойства байкальского льда и некоторые явления ледового режима Малого моря // Труды Байкал. лимнол. станции. — 1959. — Т. 17.
22. **Шерстянкин П. П.** Экспериментальные исследования подледного светового поля озера Байкал. — М.: Наука, 1975.
23. **Потемкин В. Л.** Радиационные процессы в озерных котловинах. — Новосибирск: Наука, 1985.
24. **D'Arrigo R., Jacoby G., Wilson R., and Panagiotopoulos F.** A reconstructed Siberian High index since A. D. 1599 from Eurasian and North American tree rings // Geophys. Res. Lett. — 2005. — Vol. 32.
25. **Kouraev A. V., Semovski S. V., Shimaraev M. N. et al.** The ice regime of Lake Baikal from historical and satellite data: relation to air temperature, dynamical, and other factors // Limnol. Oceanogr. — 2007. — Vol. 52(3).

*Лимнологический институт СО РАН,
Иркутск*

*Поступила в редакцию
30 мая 2007 г.*

УДК 551.510.42

В. Л. ПОТЕМКИН, В. Л. МАКУХИН

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ЛАНДШАФТОВ В КОТЛОВИНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ ПРИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРАХ

Выполнен анализ концентраций оксидов азота, полученных при измерении с помощью газоанализатора над акваторией Байкала летом 2005 г., в сопоставлении с метеорологическими условиями за этот же период. С использованием численной модели распространения и трансформации примесей выявлены области повышенного загрязнения соединениями азота в регионе оз. Байкал. Анализируется ситуация по распространению дымового шлейфа от лесных пожаров на северо-западном побережье озера.

© 2007 Потемкин В. Л., Макухин В. Л.