

## СОПРЯЖЕННОСТЬ МЕЖГОДОВЫХ ИЗМЕНЧИВОСТЕЙ ЛЕДОВЫХ РЕЖИМОВ БАЙКАЛА И ЛАДОГИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

*Каретников С.Г.\* , Науменко М.А.\* , Гузватый В.В.\* , Шимараев М.Н.\*\* , Кураев А.В.\*\*\**

\*ФГБУН Институт озераедения РАН, \*\*ФГБУН Лимнологический институт СО РАН, \*\*\* LEGOS  
(Лаборатория спутниковой геофизики и океанологии Университета Поля Сабатье III (г.Тулуза, Франция)  
E-mail: sergeyka55@mail.ru

Глобальное изменение климата оказывает существенное влияние на различные природные объекты, в том числе и на такие как крупные озера. По данным [1] с начала 21-го века средняя глобальная температура постепенно стабилизировалась, однако средняя по России температура продолжает расти. На территории России в целом за год и во все сезоны, кроме зимы, продолжается потепление. Средняя скорость роста среднегодовой температуры воздуха за последних 30 лет по России ( $0.43^{\circ}\text{C}/10$  лет) более, чем в два раза превысила скорость роста глобальной температуры. Например, ноябрь 2013 г., за последние годы был самым тёплым. Средняя за год температура по России на  $1.52^{\circ}\text{C}$  превзошла норму (среднюю за период 1961–90 гг.), а средняя приземная температура воздуха была выше нормы на  $+0.50^{\circ}\text{C}$ .

Таким образом, региональные изменения климата носят разнонаправленный характер и проявляются в разной степени на различных территориях.

Хорошим индикатором, происходящих с климатом изменений, служит ледовый режим крупных озер. Сроки наступления ледостава, вскрытия, степень покрытости и продолжительность ледовых явлений, толщина льда и другие характеристики ледового режима, в последнее время все чаще используются для оценки климатических изменений в регионах. Влияние глобального потепления на Байкале [3] проявляется в сокращении продолжительности зимнего ледостава и рост температуры верхних слоев воды озера летом. На фоне линейного тренда выделяются низкочастотные колебания с продолжительностью 10–30 лет, которые определяются изменчивостью атмосферной циркуляции в Северном полушарии. Представляет значительный интерес исследовать сопряженность ледовых процессов двух крупнейших озёр Евразии – Байкала и Ладоги как результат локального взаимодействия атмосферных и озерных процессов в условиях изменяющегося климата.

Исходными данными для анализа явились данные о датах начала ледостава, начала вскрытия, величины максимальной толщины льда (для озера Байкал) и величины индекса ледовитости для Ладоги. Эти параметры были получены с использованием космической информации и авиаразведок. Индекс ледовитости представляет собой площадь под кривой изменения степени покрытости озера льдом в процентах от общей площади озера, начиная с даты начала до даты окончания ледовых явлений [4]. Для сравнения ледового режима Ладоги и Байкала были привлечены спутниковая информация SMMR и SSM/I пассивного радиометра с разрешением  $25 \times 25$  км, начиная с 1979 по 2013 годы [5]. Следует отметить, что для Ладоги характерной особенностью является то, что она не каждый год полностью покрывается льдом. В 15 из 69 зим полного ледостава на Ладоге не наблюдалось [2].

Для характеристики внешних условий, оказывающих первостепенное влияние на ледовый режим озер, использовались ежегодные нарастающие суммы зимних среднесуточных температур воздуха. Для Ладоги были использованы данные по метеостанции Сортавала, расположенной на севере Ладожского озера с 1945 г. по настоящее время. Для Южного Байкала была использована метеостанция Бабушкин за период с 1940 по настоящее время. Над севером Ладоги разброс этих дат больше, чем над южной частью Байкала, где переход через  $0^{\circ}\text{C}$ , как осенью, так и весной происходит в более короткие сроки. Средние величины накопленных за зиму температур воздуха для Ладоги в два раза меньше, чем для Байкала.

Суровость зимы, выраженная в сумме среднесуточных зимних температур воздуха, определяется сочетанием глобальных и региональных атмосферных циркуляций. Параметром атлантического влияния для Ладоги и Байкала принимался нормализованный индекс атлантической циркуляции (NAO). Влияние арктической зоны высокого атмосферного давления на циркуляцию атмосферы северного полушария параметризовалось индексом арктической циркуляции (AO). Сибирский максимум высокого давления, выражаемый индексом Sh, в период своего максимального развития препятствует проникновению воздушных масс Атлантики в регион Байкала [3]. Аналогично по воздействию на распространение влияния Атлантики индексу Sh для Ладоги был принят скандинавский индекс (SCAND).

При оценке парной корреляции между природными характеристиками часто получаются очень низкие коэффициенты детерминации, не позволяющие считать их связанными друг с другом. Однако,

применив фильтрацию данных или оценив их сопряженность, можно получить значительно лучшие результаты сравнения природных характеристик, особенно, если они относятся разным регионам.

Рассматривая суммы зимних температур воздуха Ладоги и Байкала как критерии определения суровости зимы, были выделены зимы, относящиеся к одинаковым по суровости категориям. Из 69 принятых для анализа зим 27 (1947, 1949, 1949, 1954, 1960, 1962, 1964, 1966, 1969, 1970, 1972, 1974, 1980, 1982, 1982, 1983, 1985, 1989, 1990, 1993, 1995, 1999, 2004, 2006, 2007, 2008, 2010, 2012, 2014) оказались в одинаковых по суровости типах зим. Это означает, что примерно для половины от общего числа зим существуют единые причины, влияющие на появление зимы того или иного типа. Но были обнаружены три зимы, относящиеся к противоположным по суровости зимам. Зимы 1975 и 2001 года для региона Байкала были отнесены к холодным, а для региона Ладоги они оказались теплыми. Зима 1978 года, наоборот, для Ладоги оказалась холодной, а для Байкала теплой.

Следует обратить внимание на существенное увеличение тесноты практически всех корреляционных зависимостей характеристик ледового режима с внешними параметрами в зимы, совпадающие по типу суровости для региона Ладоги и Байкала. Только для Сибирского индекса (Sh), наоборот, увеличение тесноты зависимости с величиной, накопленной зимней среднесуточной температуры воздуха м/с Бабушкин, наблюдается в зимы, когда отсутствует соответствие типа зимы по суровости для региона Ладоги и Байкала.

Сопряженность двух рядов данных проверялась по степени соответствия тенденций изменения одного показателя другому. Для этого сравнивались характеры межгодовых изменений на трехлетнем скользящем участке двух временных рядов и отмечались трехлетние изменения с одинаковым характером изменения показателей. При полной сопряженности следует говорить о синхронности межгодовых изменений характеристик.

Высокая степень сопряженности была обнаружена между рядами данных, относящимися к одному озеру, такими как индекс ледовитости Ладоги и ежегодные нарастающие суммы зимних среднесуточных температур воздуха по метеостанции Сортавала (86.9 %). Ежегодные нарастающие суммы зимних среднесуточных температур воздуха по метеостанции Бабушкин хорошо сопрягаются с максимальными толщинами льда Байкала (81.0 %) и региональным индексом Сибирского максимума высокого давления (55.7 %).

Обнаружена несколько меньшая сопряженность между однотипными характеристиками Ладоги и Байкала, такими как индексы ледовитости двух озер, рассчитанные по спутниковым данным пассивного радиометра (42,8 %), Скандинавский и Сибирский индексы циркуляции атмосферы сопряжены на 40.3 %, суммы отрицательных температур среднесуточных температур воздуха, накопленные за зимний период, по метеостанциям Сортавала и Бабушкин (36.2 %). Интересным представляется существование 38.5 % сопряженности между индексами ледовитости Ладоги и максимальной за зиму толщиной льда Байкала в районе пос. Листвянка, а также 37,4% сопряженности между датами начала устойчивого уменьшения площади льда при вскрытии Ладоги и датами окончания ледовых явлений на посту Листвянка.

Даты появления первого льда на посту Листвянка на Байкале в очень малой степени, всего на 27,2 %, сопрягаются с датами обнаружения первого льда на Ладоге по дистанционным данным. Столь же мало сопряжение и продолжительностей ледовых явлений на Ладоге и Байкале.

Исследования продемонстрировали генетическую связь межгодовых изменений характеристик зимнего режима Ладоги и Байкала. Предпринята попытка оценить степень этой связанности.

#### Список использованных источников

1. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2013 год. Росгидромет, – Москва, 2014. – 109 стр.
2. Каретников С.Г., Науменко М.А. Ледовый режим. В кн Ладога, под. ред. В.А. Румянцева и С.А.Кондратьева, Нестор-История, СПб, 468 стр., 2013.
3. **Шимараев М.Н.** Циркуляционные факторы изменений ледово-термического режима Байкала. География и природные ресурсы, 2007, № 4, с. 54-59.
4. Karetnikov S., Naumenko M. Recent trends in Lake Ladoga ice cover. Hydrobiologia 2008, vol.599, no 1 pp.41-48.
5. Kouraev A.V, Semovski S.V, Shimaraev M.N., Mognard N.M., Legresy B., Remy F. Observations of Lake Baikal ice from satellite altimetry and radiometry. Remote Sensing of Environment, 108 (2007), pp. 240–253.