

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Веденин Ю. А. и др. Формирование дачных участков и садовых кооперативов на территории Московской области // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1976. № 3. С. 72—79.
[2] Исаченко Г. А. «Окно в Европу»: история и ландшафты. СПб., 1998.

Санкт-Петербург
greg.isachenko@gmail.com

Поступило в редакцию
21 декабря 2010 г.

Изв. РГО. 2011. Т. 143. Вып. 3

© Ю. А. САЛО, Л. Е. НАЗАРОВА

МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЛЕДОВОГО РЕЖИМА ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ РЕГИОНАЛЬНОГО КЛИМАТА

Процессы образования и разрушения ледового покрова на крупных озерах определяются комплексом метеорологических и гидрофизических факторов и процессов, происходящих над акваторией и в толще водной массы в течение соответствующего осенне-зимнего и весеннего периодов. Изучение ледового режима Онежского озера было начато уже во второй половине XIX в. [6] и продолжается в настоящее время, однако изученность многолетней динамики основных характеристик ледового режима (тенденции смещения сроков начала и окончания ледовых явлений, продолжительность характерных фаз ледового режима) остается недостаточной. Выполненные ранее исследования [5] показали, что продолжительность безледоставного периода на акватории Петрозаводской губы Онежского озера в течение 1884—2000 гг. увеличилась с 217 до 225 дней. В последнее время установлено, что внутри- и межгодовые флуктуации климатических и гидрологических характеристик могут быть объяснены колебаниями характеристик барического поля в районе Атлантического океана [1, 7, 8]. В качестве индикатора изменчивости барического поля над Северной Атлантикой используется индекс Северо-атлантического колебания (САК, или в английской транскрипции *NAO*). Высокие значения индекса *NAO* отражают ситуацию, когда углубившийся Исландский минимум порождает усиленный западный перенос с активизацией циклонических процессов к северу от 50° с. ш., что приводит к теплым и влажным зимам в Северной Европе. Низкие значения индекса *NAO*, сопровождающиеся ослаблением Исландской депрессии, вызывают усиление меридиональных процессов и как следствие более суровые и сухие зимы [4]. Аналогичная тенденция для крупных озер России отмечена в работе Т. П. Гронской и Н. А. Лемешко [3]. Они также обращают внимание на сдвиг дат вскрытия озер в моменты усиления *NAO* на более ранние сроки. Среднемесячные индексы *NAO* за период с 1900 г. по настоящее время являются общедоступными [9, 10].

В данной работе была поставлена задача исследования связи основных характеристик ледового режима Онежского озера с колебаниями индекса *NAO* и температурой приземного воздуха над акваторией озера за период совместных наблюдений за этими характеристиками. По результатам ледовых авиаразведок, выполненных отделом авиационных исследований Северо-Западного территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу природной среды Роскомгидромета за период 1955—1990 гг. впервые для всей акватории Онежского озера, были рассчитаны средневзвешенные индексы ледовитости, характеризующие относительную площадь акватории озера, занятую сплошным ледовым покровом и полями дрейфующего льда с учетом его сплоченности [2].

Величина индекса изменяется от нуля (отсутствие ледяного покрова и плавучего льда на акватории озера) до единицы (вся акватория покрыта сплошным ледяным покровом). Хронологический ряд индекса ледовитости для конкретного года дает представление о динамике замерзания (вскрытия) акватории озера в целом, а не по отдельным прибрежным районам, примыкающим к гидрологическим озерным постам.

Изменение индекса ледовитости K_L в течение периода осеннего охлаждения и замерзания зависит от нарастания суммы отрицательных температур воздуха ΣT_- ; в период разрушения ледяного покрова, вскрытия и периода очищения — от нарастания суммы положительных температур ΣT_+ (рис. 1). Существенный разброс точек на этих графиках объясняется различием в интенсивности прогрева (охлаждения) воздуха и воды, скорости ветра над отдельными районами озера, количеством и продолжительностью возврата холодов. В среднем для начала разрушения ледяного покрова на акватории озера необходимая сумма положительных суточных температур воздуха для разных лет составляет от 40 до 80 °С. Полное очищение акватории ото льда происходит при достижении ΣT_+ значений 200—310 °С. Замерзание озера начинается при достижении ΣT_- значений 50—80 °С; при последующем увеличении суммы отрицательных сумм коэффициент ледовитости увеличивается и достигает значения 100 % при величинах ΣT_- , равных 290—490 °С.

Для оценки интенсивности весеннего прогрева и осеннего охлаждения воздуха в районе озера использованы данные наблюдений на станциях Роскомгидромета, расположенных в непосредственной близости к озеру (Кондопога, Медвежьегорск, Бор-Пуданцев, Павликовская, Вознесенье, Петрозаводск) и на островах (Маячный, Василисин). Как показали сравнения синхронности внутригодового хода температуры воздуха на этих станциях, в качестве одной — базовой — метеостанции может быть принята МС Петрозаводск.

Результаты расчетов индекса ледовитости, суммы отрицательных (в период охлаждения и замерзания озера) и положительных (в весенне-летний период) температур воздуха, среднемесячных температур воздуха, характерных дат и продолжительности периодов ледовых явлений, а также индексов NAO за период 1955—1990 гг. сформировали информационную основу данного исследования.

На начальном этапе исследования был выполнен корреляционный анализ среднемесячной температуры воздуха в весенние и осенние месяцы года (время вскрытия и установления ледового покрова) по данным МС Петрозаводск и значениям индекса NAO за эти же месяцы за период 1955—1990 гг. Даты начала разрушения (D_{BR}) и установления (D_{FR}) ледового покрова на Онежском озере определялись как число дней после 1 апреля и после 1 ноября соответственно.

В результате анализа полученных данных (табл. 1) были сделаны следующие выводы. Температура апреля объясняет 32 % дисперсии ряда времени начала разрушения ледостава (коэффициент корреляции -0.57), в то время как значения индекса NAO в мае, имеющие наибольший коэффициент корреляции с датами вскрытия озера,

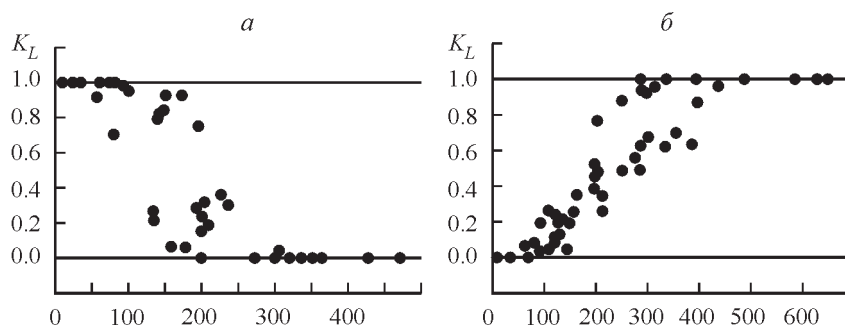


Рис. 1. Зависимость индекса ледовитости акватории Онежского озера от сумм суточных температур воздуха в период вскрытия (а) и замерзания (б).

Таблица 1

Коэффициенты корреляции между датами начала разрушения ледового покрова на Онежском озере, средней месячной температурой воздуха и индексами *NAO*

	D_{BR}	T_{III}	T_{IV}	T_V
D_{BR}		-0.34	-0.57	-0.43
NAO_{III}	0.01	0.49	0.13	0.25
NAO_{IV}	0.19		0.23	0.04
NAO_V	0.40			0.12

объясняют лишь 16 % (коэффициент корреляции 0.4). В основном, как это следует из табл. 1, корреляция между среднемесячной температурой воздуха и индексами *NAO* низкая, за исключением марта, когда коэффициент корреляции равен 0.49. Такие же результаты были получены *J. C. Yoo* и *P. D'Odorico* [8] для небольших озер Каллавеси и Насиярви в Финляндии, которые установили, что корреляция между датами начала разрушения ледостава и среднемесячной температурой воздуха апреля—мая более значима ($r = 0.70—0.79$), чем со значениями индекса *NAO* ($r = 0.32—0.38$).

На время установления ледостава на Онежском озере (табл. 2) наибольшее влияние оказывает декабрьская температура воздуха ($r = 0.63$). Влияние температуры воздуха других месяцев, так же как и индексов *NAO*, весьма незначительно.

Уравнение множественной регрессии для дат окончания ледостава (D_{BR}) было получено в следующем виде:

$$D_{BR} = 40.8 + 1.44NAO_{III} + 0.992NAO_{IV} + 1.19NAO_V - 0.877T_{III} - 2.17T_{IV} - 1.72T_V. \quad (1)$$

Коэффициент множественной регрессии $R = 0.75$, $\delta = \pm 7$ дней, $N = 31$ год.

Если в уравнении использовать только среднюю месячную температуру воздуха марта—мая, коэффициент множественной регрессии уменьшается до 0.68, что приводит к уменьшению процента объясненной дисперсии с 56 до 46 %.

Для расчета времени установления ледового покрова на Онежском озере (D_{FR}) уравнение множественной регрессии имеет следующий вид:

$$D_{FR} = 93.5 + 0.444NAO_X + 0.398NAO_{XI} - 0.532NAO_{XII} + 0.851T_X + 1.43T_{XI} + 2.42T_{XII}. \quad (2)$$

$R = 0.68$, $\delta = \pm 7$ дней, $N = 30$ лет.

На рис. 2 и 3 приведено сравнение фактических дат начала характерных ледовых явлений с рассчитанными по соответствующим уравнениям (1) и (2).

Таблица 2

Коэффициенты корреляции между датами установления ледового покрова на Онежском озере, средней месячной температурой воздуха и индексами *NAO*

	D_{FR}	T_X	T_{XI}	T_{XII}
D_{FR}		0.07	0.15	0.63
NAO_X	0.05	0.25	0.19	-0.10
NAO_{XI}	0.05		0.27	0.01
NAO_{XII}	0.08			0.19

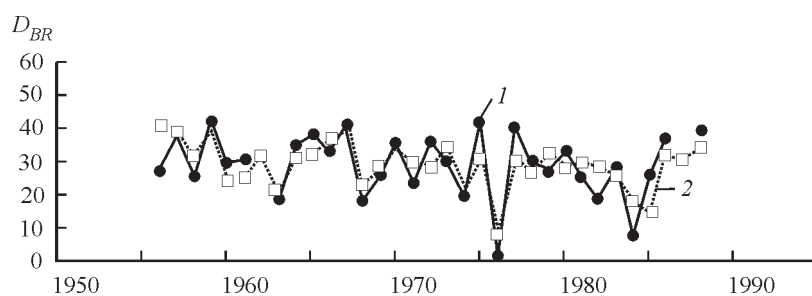


Рис. 2. Фактические (1) и рассчитанные (2) по уравнению (1) даты начала разрушения ледяного покрова на Онежском озере.

Зависимость продолжительности безледоставного периода на Онежском озере от среднегодовых значений индекса Северо-атлантического колебания (NAO_y) и годовой температуры воздуха по МС Петрозаводск (T_{PTZ}) за 29-летний период представлена в виде (R — коэффициент корреляции, SD — среднеквадратическое отклонение):

$$T_{FR} = 237 + 19.9NAO_y, \quad R = 0.51, \quad SD = \pm 14 \text{ days}, \quad (3)$$

$$T_{FR} = 218 + 6.19NAO_y + 8.39T_{PTZ}, \quad R = 0.71, \quad SD = \pm 12 \text{ days}. \quad (4)$$

Сравнение совмещенных графиков колебаний индекса NAO_y и продолжительности безледоставного периода (T_{FR}) показывает в целом удовлетворительную согласованность. При учете обоих параметров коэффициент множественной корреляции возрастает до 0.71, а среднеквадратическая ошибка расчета несколько снижается. Поэтому в качестве окончательной расчетной формулы принято двухпараметрическое уравнение (4), расчеты по которому дают удовлетворительное соответствие рассчитанных и фактических значений продолжительности безледоставного периода (рис. 4).

Как следует из результатов анализа, основные характеристики ледового режима Онежского озера существенно зависят от внутри- и межгодовой изменчивости климатических параметров. Структура уравнений (1)—(4) показывает, что ведущим фактором, определяющим как сроки начала характерных ледовых явлений, так и их продолжительность, является среднемесячная (для сроков начала и окончания ледостава) и годовая температура воздуха (для продолжительности безледоставного периода) в районе, прилегающем к акватории озера. Северо-атлантическое колебание оказывает менее существенное влияние на сроки начала и окончания ледостава. Вклад индекса NAO в межгодовую продолжительность периода открытой воды оценивается величиной порядка 25 %, в то же время включение в расчетное уравнение двух параметров (индекса NAO и годовой температуры воздуха в районе Онежского озера)

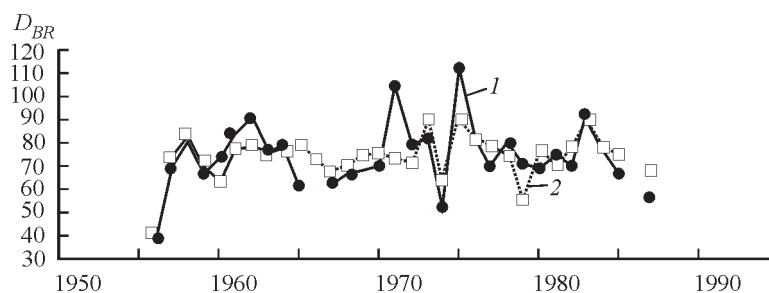


Рис. 3. Фактические (1) и рассчитанные (2) по уравнению (2) даты начала замерзания акватории Онежского озера.

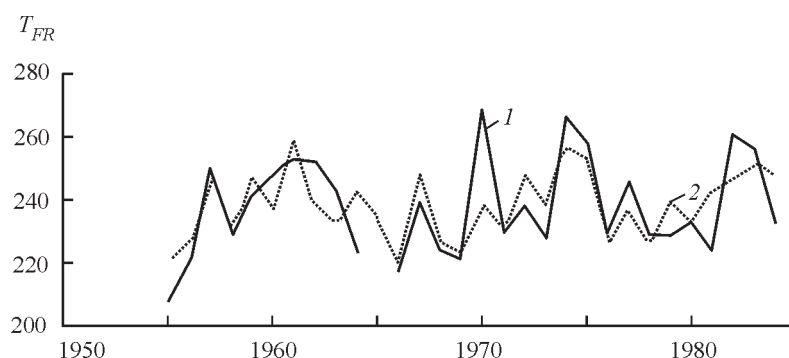


Рис. 4. Продолжительность безледоставного периода на Онежском озере (T_{FR}) фактическая (1) и рассчитанная (2).

повышает процент объясненной дисперсии в изменчивости безледоставного периода до 50 %.

Основной вывод заключается в том, что установлена связь характерных сроков и продолжительности ледовых явлений с климатическими характеристиками. Зависимости (1—2) и (4) могут быть приняты в качестве модельных уравнений при оценке устойчивости сроков замерзания и вскрытия акватории Онежского озера, а также изменения продолжительности безледоставного периода при различных сценариях изменения регионального климата. При этом в качестве предикторов необходимо использовать прогнозные среднемесячные и годовые значения температуры воздуха и индекса Северо-атлантического колебания, полученные в результате численных экспериментов как на моделях общей циркуляции атмосферы и океана, так и на моделях регионального климата. Практическое значение указанных расчетов заключается в оценке возможных изменений сроков начала и продолжительности навигации на Онежском озере, Беломоро-Балтийском и Волго-Балтийском каналах, а также в оценке влияния продолжительности безледоставного периода на рыбные запасы озера.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (№ 10-05-00963-а).

Список литературы

- [1] Бабкин В. И., Воробьев Н. В., Кочанов С. Ю., Смирнов Н. П. Северо-атлантическое колебание и многолетняя динамика стока рек Европы // Современные проблемы гидрометеорологии / Под ред. В. Н. Малинина. Вып. 122. СПб.: Изд-во РГГМУ, 1999. С. 114—121.
- [2] Бушуев А. В., Волков Н. А., Лоцилов В. С. Атлас ледовых образований. Л.: Гидрометеоздат, 1974. 139 с.
- [3] Гронская Т. П., Лемешко Н. А. Гидрологический режим крупнейших озер России при современных изменениях климата // Тез. Докл. VI Всерос. гидролог. съезда. Секция 3. Водный баланс, ресурсы поверхностных вод, гидрологические последствия хозяйственной деятельности и изменений климата: уязвимость и адаптация социально-экономической сферы. СПб., 2004. С. 238—239.
- [4] Догановский А. М., Федосеева Н. В. Макросиноптические условия и формирование уровневого режима озер Северной Европы // Экологическое состояние континентальных водоемов Арктической зоны в связи с промышленным освоением северных территорий. Тез. докл. на Междунар. конф. (г. Архангельск, 21—25 июня 2005). СПб., 2005. С. 31.
- [5] Климат Карелии. Изменчивость и влияние на водные объекты и водосборы / Под ред. Н. Н. Филатова. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. 223 с.
- [6] Рыкачев М. Вскрытия и замерзания вод в Российской Империи. СПб., 1886. 309 с.
- [7] Bobylev L. P., Kondratyev K. Ya., Johannassen O. et al. Arctic Environment Variability in the Context of Global Change. London: Springer-Praxis, 2003. 471 p.

- [8] *Chang Yoo Jae, D'Odorico P.* Trends and fluctuation the dates of ice break-up of lakes and rivers in the Northern Europe: the effect of the North Atlantic Oscillations // *J. of Hydrology*. 2002. N 268. P. 100—112.
- [9] *Jones P. D., Jonsson T., Wheeler D.* Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and south-west Iceland // *Journal of Climatology*. 1997. N 17. P. 1433—1450.
- [10] <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/nao.htm>

Петрозаводск
nararova@nwpi.Krc.Karelia.ru

Поступило в редакцию
22 октября 2010 г.

Изв. РГО. 2011. Т. 143. Вып. 3

© Д. К. СТАРИЦЫН, В. Р. ФУКС

НЕЛИНЕЙНОСТЬ ТРЕНДОВ В КОЛЕБАНИЯХ УРОВНЯ ЯПОНСКОГО И ОХОТСКОГО МОРЕЙ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ АЛЬТИМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Известно, что в XX в. уровень Мирового океана (УМО) в среднем повышался со скоростью 1.7—1.9 мм/год [4, 5, 10]. В последние годы рост УМО ускорился и по некоторым оценкам составляет 3.1—3.2 мм/год [5, 9]. По мнению некоторых исследователей, основанному на результатах численного моделирования климата, рост уровня будет продолжаться далее ускоренными темпами [11]. В то же время оценки величины подъема среднего уровня Мирового океана в ближайшие 100 лет у различных авторов различаются более чем на порядок и составляют от 10—20 см до нескольких метров.

В данной работе на основе спутниковой альтиметрической информации рассматриваются тренды уровня Японского и Охотского морей в связи с естественными климатическими процессами, происходящими в океане и атмосфере.

Колебания уровня океана представляют собой главным образом сумму динамических, эвстатической и стерической составляющих. Динамические изменения уровня вызываются прежде всего пространственными неоднородностями полей течений. К эвстатической компоненте относятся составляющие водного и ледового балансов: испарение, осадки, приток материковых вод, айсберговый сток и т. д. Стерические колебания обусловлены изменениями плотности морской воды за счет соответствующих изменений температуры и солёности [1, 2].

В настоящее время существуют два принципиально различных метода наблюдений за морским уровнем. Прежде всего это береговые футшточные (мареографные) измерения уровня, по которым имеются длительные ряды наблюдений. В частности, анализ мареографных наблюдений за уровнем Японского моря был выполнен В. П. Семакиным и Г. Г. Якушко [8]. Авторы обобщили результаты изучения возмущений уровня по данным морских уровенных постов на побережье Японского моря. На основе этих и многих других работ в настоящее время базируются современные представления об изменчивости уровня в этом регионе.

Второй метод, который получил развитие в последние годы, — метод спутниковой альтиметрии, позволяющий получать оценки уровенной поверхности океана практически на всей его акватории. Уместно напомнить, что относительно надежные альтиметрические данные по морскому уровню стали доступными только с 1992 г. Поэтому по имеющимся данным (17 лет) трудно рассчитывать на устойчивые оценки долгопериодной изменчивости уровня.