

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ОЗЕР КАРЕЛИИ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

Ефремова Т.В. , Пальшин Н.И., Белашев Б.З.

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, Институт геологии КарНЦ РАН, Россия

Для выявления реакции ледового и термического режима разнотипных озер на изменения климата использованы данные наблюдений Карельского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (1950-2011гг.) на 8 озерах Карелии (Онежское, Сегозеро, Топозеро, Выгозеро, Сямозеро, Водлозеро, Ругозеро, Тулмозеро). Исследуемые озера расположены в северной, центральной и южной Карелии от 61° до 66° с.ш. и от 31° до 37° в.д. Озера разнообразны по своим морфометрическим и гидрологическим характеристикам.

Для оценки связи температуры поверхности воды с температурой воздуха для каждого озера подбиралась ближайшая репрезентативная метеостанция (МС) с соответствующим периодом наблюдений на озерах. Для обработки натуральных данных использовался метод регрессионного и спектрального анализа. Уровень статистической значимости трендов временных рядов оценивали на основе t -статистики Стьюдента и непараметрического теста Манна–Кендалла.

Анализ наблюдений показал, что на всех выбранных метеостанциях за исследуемый период (1950-2011гг.) отмечено повышение среднегодовой температуры воздуха на 0,2-0,3°C/10 лет (тренды значимы на уровне $p < 0,01$). Во внутригодовом ходе изменение средних месячных значений температуры воздуха происходит неравномерно, наиболее интенсивное потепление наблюдается в марте (0,5-0,6°C/10 лет) и в апреле (0,3-0,5°C/10 лет). Рост температуры воздуха в весенние месяцы приводит к более ранним датам окончания ледостава и очищения озер ото льда, за 60-летний период они смещаются к более ранним срокам на 2-8 суток, но линейные тренды статистически незначимы. Сроки образования льда за 60-летний период запаздывают на 2-12 суток, тренды также статистически незначимы за исключением глубоководного озера Сегозеро. В результате происходит сокращение периода ледостава, что особенно заметно в последнее десятилетие. Продолжительность ледостава на озерах в среднем сократилась на 11-16 суток, а для самых крупных и глубоких озер Онежского и Сегозера – более 20 суток.

Сроки ледовой фенологии определяются усилением или ослаблением западного переноса воздушных масс из Атлантики. Для Карелии влияние Северо-Атлантического колебания

(NAO) в декабре-марте объясняет 36-40% колебаний температуры воздуха. Даты исчезновения льда на озерах Карелии коррелируют со средними значениями индексов NAO за январь-февраль, причем лучше всего эта связь проявляется для крупных озер: Онежского ($r = -0,57$), Сегозеро ($r = -0,46$), Топозеро ($r = -0,43$) и Выгозеро ($r = -0,39$). Даты начала ледостава связаны со средними значениями индексов NAO за октябрь-ноябрь, но коэффициенты корреляции меньше (около 0,30).

Спектральный анализ временных рядов сроков ледовой фенологии с применением метода максимальной энтропии позволил оценить основные периоды колебаний. Для сроков замерзания озер наиболее типичны короткопериодные колебания от 2 до 5 лет. В датах очищения озер ото льда четко выражены колебания с периодами около 6, 8 и 12 лет.

Более раннее окончание ледостава приводит к более раннему установлению летней термической стратификации и, следовательно, к большему нагреванию эпилимниона в течение летних месяцев, что вызывает больший тренд средней температуры поверхности воды в летний период, чем следовало бы ожидать в ответ на изменение только температуры воздуха. Статистически значимые линейные тренды ($p < 0,01$) средней температуры поверхности воды за пять теплых месяцев (июнь-октябрь) в период с 1953 по 2009гг. характерны для всех озер. Значения скорости роста температуры воды, как в северных, так и южных озерах Карелии достаточно близки и изменялись от $0,23^{\circ}\text{C}/10$ лет до $0,32^{\circ}\text{C}/10$ лет. С учетом экстремально теплых лет 2010 и 2011 годов скорость роста температуры воды в озерах за период 1953-2011гг. увеличилась до $0,34^{\circ}\text{C}/10$ лет ($p < 0,01$).

Наибольшие положительные изменения температуры воды в озерах отмечены в первом десятилетии двухтысячных годов. По сравнению с данными, принятыми за норму (1961-1990), температура воды в оз. Водлозеро увеличилась с июня по октябрь в среднем на $0,9^{\circ}\text{C}$, в оз. Топозере – на $1,1^{\circ}\text{C}$, в остальных озерах – на $1,3^{\circ}\text{C}$., при этом за последний десятилетний период выросли все средние месячные значения температуры воды на всех озерах. В июне увеличение температуры воды у берега по озерам в среднем составило $0,9^{\circ}\text{C}$, в июле – $1,4^{\circ}\text{C}$, в августе – $1,3^{\circ}\text{C}$, сентябре-октябре – $1,2^{\circ}\text{C}$.