

ВНУТРИВЕКОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ УРОВНЯ КРУПНЕЙШИХ ОЗЕР РОССИИ

© 2016 г. Член-корреспондент РАН Н. Н. Филатов¹, Т. Ю. Выручалкина^{1,2},
Н. А. Дианский^{1,3}, Л. Е. Назарова¹, В. Н. Синюкович⁴

Поступило 09.09.2015 г.

Впервые совместно рассмотрены особенности внутривековых изменений уровня крупнейших озер Евразии: Байкала, Ладожского, Онежского, бессточного Каспийского моря-озера по данным длительных измерений, полученных в XX–начале XXI в. Показано влияние климатических и антропогенных факторов для совершенствования прогноза уровня озер.

DOI: 10.7868/S0869565216110177

В нашей работе впервые совместно рассмотрены особенности внутривековых изменений уровня крупнейших озер России – Байкала, Ладожского, Онежского, бессточного Каспийского моря-озера (последнее омывает берега России, Азербайджана, Ирана, Туркменистана, Казахстана) – по данным длительных измерений, полученных в XX–начале XXI в. Крупнейшие озера России имеют стратегическое значение для развития экономики, однако недостаточно изученные закономерности изменчивости уровня крупнейших озер России не позволяют корректно решать ряд практических задач по сохранению экосистем озер, биоресурсов, энергетики, водного транспорта, питьевого водоснабжения, рекреации. Предпринятые ранее попытки долгосрочного прогноза внутривековых изменений уровня Каспийского моря с использованием разнообразных методов по разным причинам оказались неудачными в основном вследствие недоучета антропогенных факторов [1–5] и недостаточного научного обоснования минимального уровня воды Байкала в 2015 г. Правительство РФ приняло постановление об использовании водных ресурсов Байкала при уровнях ниже 456 м (нижний

предельный уровень, установленный Правительством в 2001 г.) для обеспечения объектов энергетики и питьевого водоснабжения населения региона.

Ранее выполненные исследования изменчивости уровня крупнейших озер России были ограничены данными, собранными до начала 90-х гг. XX в., и не охватывали период глобального потепления последних трех десятилетий. Потепление климата в последние 30 лет отмечено на водосборах всех рассматриваемых озер [6–11] и водосборе Великих американских озер [12]. При этом реакции гидрологических режимов на потепление климата существенно различались в зависимости от региональных особенностей, влияния антропогенных факторов, площади, характера водосбора.

Рассмотрим особенности изменения климата на водосборах исследуемых озер по данным длительных наблюдений в 1900–2014 гг. (рис. 1). При оценке изменений климата на водосборах исследуемых озер в качестве климатической нормы используем среднее многолетнее значение за 1961–1990 гг.

Изменения приземной температуры воздуха и других климатических характеристик за более чем вековой период наблюдений существенно различаются для исследуемых озер (рис. 1). Наиболее близок к стационарному ряд изменений температуры воздуха для водосборов Ладожского, Онежского озер. Анализ климатических и гидрологических временных рядов на водосборе Ладожского, Онежского озер в 1990–2014 гг. выявил наличие небольших положительных линейных трендов годовых температур воздуха, осадков и общего испарения, при этом ряд суммарного притока в Онежское озеро за тот же период не

¹ Институт водных проблем Севера
Карельского научного центра
Российской Академии наук, Петрозаводск
E-mail: nfilatov@rambler.ru

² Институт водных проблем
Российской Академии наук, Москва

³ Институт вычислительной математики
Российской Академии наук, Москва

⁴ Лимнологический институт
Сибирского отделения
Российской Академии наук, Иркутск

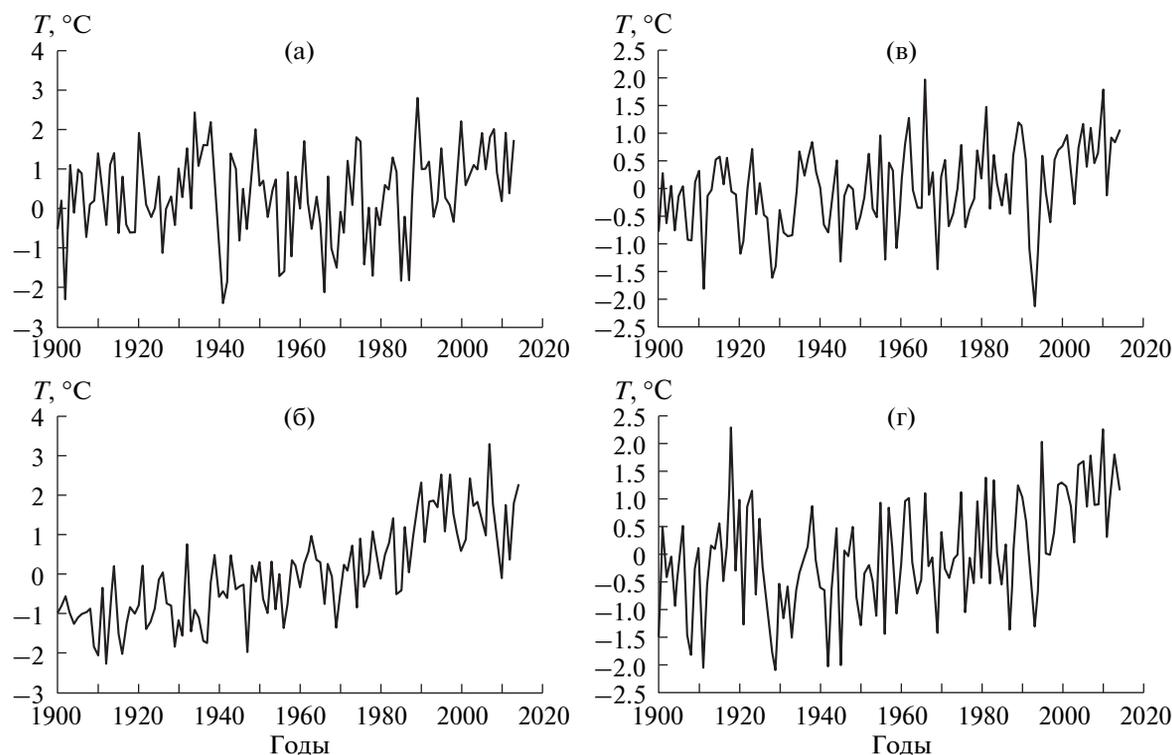


Рис. 1. Изменения аномалий приземной температуры воздуха на водосборах Ладожского и Онежского озер (а – Петрозаводск), Байкала (б – Иркутск), Каспийского моря (в – Махачкала, г – Астрахань).

имеет тренда [7, 8]. Данные по осадкам, испарению, стоку рек для изучаемых озер мы не приводим, так как это описано в [7–11, 13]. С 1989 г. наблюдается устойчивое превышение нормы средней годовой температуры воздуха. Наиболее значимые изменения температуры характерны для зимних месяцев. В данных по температуре воздуха отмечены квазициклические колебания с временными масштабами в 30, 5–7 лет, 2 года. Наблюдается рост годовых сумм выпавших атмосферных осадков, средние многолетние значения за 1991–2014 гг. превышают климатические нормы на 12–60 мм. Отмечено увеличение осадков теплого и холодного периодов года.

Наиболее заметный вековой тренд повышения температуры воздуха отмечен для Байкала (ст. Иркутск), выявлены также квазициклические колебания с временными масштабами порядка 10–30 лет. Изменения климата в регионе определяет в основном изменчивость атмосферной циркуляции северного полушария [10]. В результате глобального потепления в конце XX–начале XXI вв. на водосборе Байкала значительно возросла температура воздуха, в особенности в зимний и весенний периоды (на 2.0 и 1.4°C соответственно), что привело к уменьшению продолжительности зимнего ледостава, росту температуры верхних слоев воды летом, повлияло на состояние экосистем озера. Положительным оказался и вековой

тренд притока воды в озеро (около 300 м³/с за 100 лет) [10]. Однако в XXI в. наметилась тенденция похолодания, уменьшения сумм выпавших атмосферных осадков и снижения притока.

Анализ изменения климата бассейна Каспийского моря в 1900–2014 гг. также выявил наличие положительных линейных трендов годовых температур воздуха (рис. 1в, г) и осадков [11, 13]. Изменения температуры воздуха с 1900 г. имеют выраженный период роста в 1930–1940 гг., который к 1950-м годам сменился относительным похолоданием, на смену которому в 1970-е годы пришла новая волна потепления (рис. 1в, г). Средние значения годовой температуры воздуха за 1993–2014 гг. на 0.8–1.0°C превышают климатические нормы. Наблюдается снижение сумм выпавших осадков, но средние многолетние значения за 1993–2014 гг. превышают климатическую норму.

Таким образом, глобальные изменения климата проявлялись на разных водосборах озер Евразии по-разному. Общее для всех рассматриваемых озер – наличие положительного тренда среднегодовой приземной температуры воздуха последние 30 лет.

На рис. 2 показаны графики изменений уровня крупнейших водоемов Евразии с 1900 по 2014 г., позволяющие выявить общие закономерности и специфические особенности изменения уровня воды.

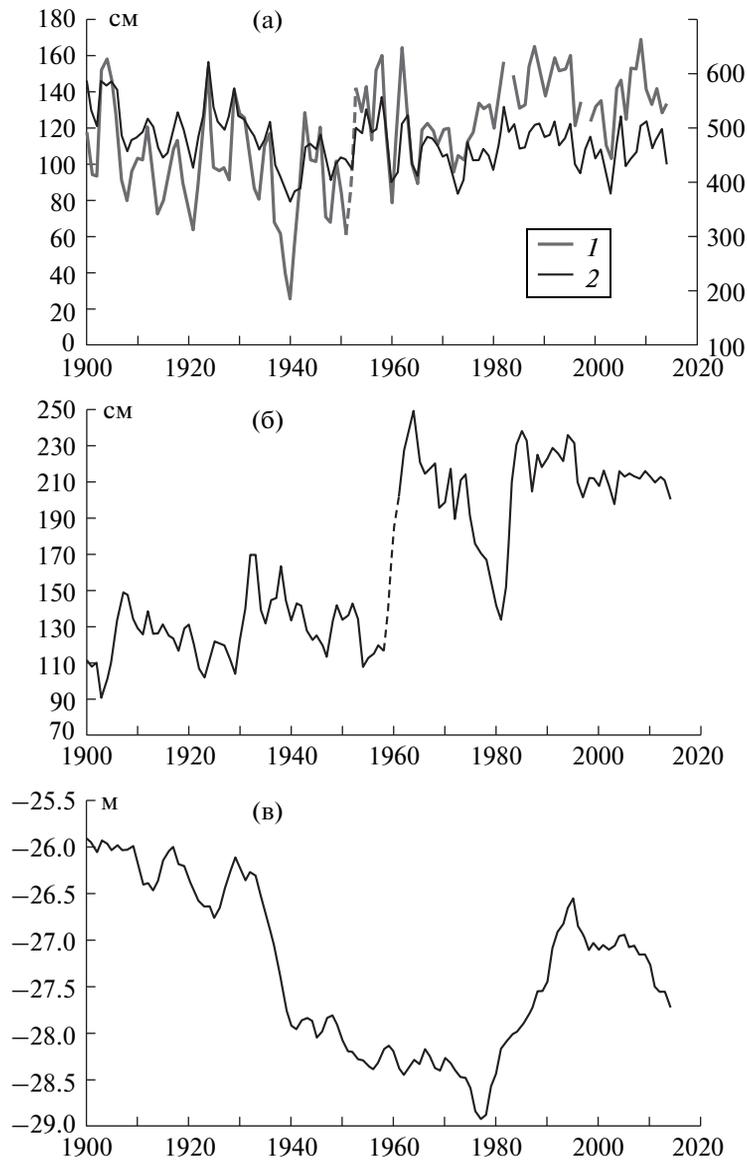


Рис. 2. Уровни воды в озерах: а) Ладожском (1), Онежском (2), б) Байкале, в) Каспийском море-озере в 1900–2014 гг.

Гидрологический режим Ладожского озера не зарегулирован, а Онежское озеро в 1953 г. было преобразовано в Верхнесви́рское водохранилище после того, как на р. Свирь была построена Верхнесви́рская ГЭС. До зарегулирования уровня озера его колебания изменялись в пределах 24–160 см, а после – 78–168 см. Средний многолетний уровень воды в Онежском озере после зарегулирования (с 1953 г.) возрос с 98 до 130 см над нулем поста.

Статистическая обработка ряда данных о годовом притоке в Онежское озеро показала, что за данный период годовой приток изменялся в значительных пределах – от 9.47 км³, или 147 мм слоя (1940 г.), до 27.6 км³, или 521 мм слоя (1962 г.) – и составлял в среднем 17.1 км³ за весь период, что соответствует 346 мм слоя стока [6–8].

В структуре водного баланса Онежского, Ладожского озер приток с водосбора играет ведущую роль. Его доля в приходной части многолетнего баланса более 70%, что втрое превышает долю осадков на зеркало. В маловодные годы его доля уменьшается до 65% (1960 г.), в многоводном 1962 г. речной приток составлял 81% общего прихода. Доля осадков изменяется от 35 (в маловодном году) до 19% (в многоводном году). Можно констатировать, что во всех циклах в приходной части баланса доля притока достигает 83–89%, а доля осадков на зеркало 15–11%. В расходной части сток из озера 90–94% и 10–6% приходится на испарение [6, 8]. Различие фазовых балансов состоит в том, что в маловодную фазу по сравнению с многоводной происходит сокращение объема

притока, стока, осадков с незначительным увеличением испарения. Колебания уровня воды Ладожского, Онежского озер когерентны (рис. 2), за исключением периода подъема уровня Онежского озера в середине 50-х годов XX в. В изменениях уровня воды этих озер выявлены квазициклические колебания уровня с временными масштабами около 30, 5–6, 2 лет. Дисперсия колебаний уровня этих озер была существенно выше до середины XX в. по сравнению с таковой для последующего периода, вплоть до настоящего времени. Для прогноза многолетних изменений уровня этих озер созданы адекватные вероятностные модели и даны прогнозы внутривековых изменений [14]. Сезонные изменения уровня Ладожского, Онежского озер за 2010–2014 гг. не имеют заметного тренда, при этом сезонные флуктуации уровня Онежского озера более упорядоченные, чем в Ладожском, за счет регулирования.

Квазисинхронный характер внутривековых изменений уровня Ладожского, Онежского озер обусловлен, в первую очередь, влиянием изменений климата на водосборе. Различия же в особенностях изменений уровня озер определяются особенностями морфометрии озер и водосборов, характером антропогенного воздействия, обусловленного в основном гидротехническим строительством и мелиорацией.

Внутривековая цикличность многолетних колебаний годового уровня воды Байкала по данным за 1900–2014 гг. (рис. 26) имеет в статистическом смысле нестационарный характер. Отмечены вековой тренд и квазициклические флуктуации с временными масштабами порядка 30 и 5–7 лет [10, 13]. Период зарегулированного режима уровня озера совпал с начавшимся после 1958 г. внутривековым циклом его колебаний, на который наложилось повышение уровня озера за счет подпора от плотины Иркутской ГЭС. В результате изменился водный режим Байкала: поднялся его уровень, сместились сроки наступления его максимальных и минимальных отметок в сторону запаздывания, увеличился средний размах колебаний (до 3.5 м) [13]. Однако проектные подпорные уровни на Байкале должны были повыситься в среднем на 1 м, но в настоящем не превышают 0.8 м. В период маловодья 1970-х – начала 1980-х гг. в результате несбалансированного регулирования была допущена исключительно глубокая сработка многолетней регулирующей емкости озера (рис. 2) [13]. По измеренным значениям притока и уровня озера [10, 13] выделена естественная составляющая его колебаний в период зарегулированного режима, показаны возрастание притока в течение столетия и внутривековые циклы притока порядка 30 лет. За последние 40 лет ход годового уровня прошел полный цикл (конец ветви спада пришелся на 1981 г.). Отмечены противофазность проявления циклов притока воды и температуры воздуха в период до 1970-х гг. Авторы объясня-

ют это особенностями внутривековой цикличности процессов зонального западного переноса воздушных масс. В период резкого потепления климата в конце XX в. эта закономерность нарушилась, что указывает на изменение типа процессов атмосферной циркуляции для района Восточной Сибири [9].

Значительно сложнее оказалась задача диагноза и прогноза изменений уровня и элементов водного баланса бессточного Каспийского моря-озера по сравнению с Ладожским, Онежским и Байкалом. По данным измерений за 1900–2014 гг. уровень Каспия имеет существенно нестационарный характер (рис. 2в). Поэтому применение вероятностных моделей не позволило прогнозировать подъем уровня в конце 1970-х годов и его понижение после 1995 г. вплоть до настоящего времени. В этот же период прогнозировали подъем уровня моря [1, 2]. Однако данные наблюдений свидетельствуют о более сложных изменениях уровня моря, чем в указанных выше работах. В [4] предложен адаптивный подход при прогнозировании уровня моря, учитывающий происходящие процессы и уточняющий перспективные изменения параметров природных и антропогенных процессов. Результаты исследования атмосферных осадков и поверхностного стока этого региона для разных сценариев ИРСС (A2, A1b) с использованием моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) [5] также противоречат натурным наблюдениям. Вероятно, одна из причин отмеченных противоречий между данными моделирования и натурными наблюдениями связана с использованием в моделях разных параметризаций для испарения [11].

Учитывая изложенное, выполнять прогнозирование внутривековых колебаний уровня необходимо как в рамках совместного анализа уравнения водного баланса моря и уравнения баланса влаги региона, включающего конкретный водоем и его бассейн, так и путем проведения экспериментов с помощью МОЦАО, разработанной в ИВМ РАН [15] с целью исследования влияния Атлантического океана на формирование климатической изменчивости озер Европейской части России (ЕЧР). Такой подход позволяет дать физически полное объяснение закономерностям изменений уровня воды крупных озер, включая Каспийское море, Ладожское, Онежское, Байкал и, следовательно, сформировать прогноз изменения. Предварительные результаты оценки климатической изменчивости циркуляции Северной Атлантики показали начавшееся снижение интенсивности Атлантической термохалинной циркуляции (АТХЦ) в начале XXI в., что может способствовать возможному грядущему похолоданию в западной Арктике [15]. Скоррелированность зимних значений температуры воздуха ЕЧР с зимними значениями индекса Северо-Атлантического колебания (САК), а также площади их распространения при разных тенденциях в изменении

индексов АТХЦ свидетельствуют о непосредственном влиянии последней на вариации климата и ход уровня озер Евразии. Действительно, увеличение воздействия САК на ЕЧР в период 1970–1990 гг. согласуется с активизацией АТХЦ, увеличением стока Волги и ростом уровня моря. Падение уровня Каспийского моря согласуется со снижением воздействия САК на ЕЧР, снижением стока Волги, интенсивности АТХЦ в 1950–1970 гг. и в начале XXI в. соответственно.

Работа выполнена в ИВПС КарНЦ РАН в рамках гранта РНФ № 14–17–00740.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Будыко М.И., Ефимова Н.А., Лобанов В.В. // Метеорология и гидрология. 1988. № 5. С. 86–94.
2. Раткович Д.Я., Болгов М.В. // Вод. ресурсы. 1994. № 4. С. 389–404.
3. Малинин В.Н. Проблема прогноза уровня Каспийского моря. СПб.: РГГМУ, 1994. 159 с.
4. Фролов А.В. Моделирование многолетних колебаний уровня Каспийского моря: теория и приложения. М.: Геос, 2003. 170 с.
5. Elguindi N., Giorgi F. // Geophys. Res. Lett. 2006. V. 33. doi: 10.1029/2006GL025943.
6. Ладога / Под ред. В.А. Румянцева, С.А. Кондратьева. СПб.: Нестор-История, 2013. 468 с.
7. Назарова Л.Е. // География и природ. ресурсы. 2010. № 1. С. 171–174.
8. Lakes Ladoga and Onego: Great European Lakes. Modelling and Experiment. В.: Springer-Praxis, 2012. 302 p.
9. Филатов Н.Н., Георгиев А.П., Ефремова Т.В., Назарова Л.Е., Пальшин Н.И., Руховец Л.А., Толстиков А.В., Шаров А.Н. // ДАН. 2012. Т. 444. № 5. С. 554–557.
10. Шимараев М.Н., Куимова Л.Н., Синюкович В.Н., Цехановский В.В. // ДАН. 2002. Т. 383. № 3. С. 397–400.
11. Панин Г.Н., Выручалкина Т.Ю., Соломонова И.В. // Вод. ресурсы. 2015. Т. 42. № 4. С. 442–452.
12. Changton S.J. // Great Lakes Res. 2004. V. 30. № 1. P. 184–200.
13. Выручалкина Т.Ю. // Вод. ресурсы. 2004. Т. 31. № 5. С. 526–532.
14. Румянцев В.А., Трапезников Ю.А. Стохастические модели гидрологических процессов. СПб.: Наука, 2008. 151 с.
15. Володин Е.М., Дианский Н.А., Гусев А.В. // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2013. Т. 49. № 4. С. 379–400.