

- [17] Sychev S. L. Kompleksnoe osvoenie pribrezhnoj zony Chernogo morya — vazhnejshij faktor ee ustojchivogo razvitiya. Avtoref. ... kand. geogr. nauk. Krasnodar, 2006.
- [18] Fadeev S. A. Transformaciya pribrezhnyx zon v Zapadnoj Evrope i Evropejskoj Rossii: delimitaciya i upravlenie. Avtoref. ... kand. geogr. nauk. M., 1998.
- [19] E'konomicheskaya geografija Mirovogo okeana / Otv. red. S. S. Sal'nikov. L.: Nauka, 1979.
- [20] Agglomerations 2017. [E'lektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.citypopulation.de/Europe.html>.
- [21] Maritime affairs. [E'lektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://ec.europa.eu/maritime-affairs/policy/blue_growth/infographics/#.

Изв. РГО. 2018. Т. 150, вып. 4

СОВРЕМЕННЫЕ МНОГОЛЕТНИЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА И ВОЗМОЖНАЯ ПРИЧИНА ЛАДОЖСКОЙ ТРАНСГРЕССИИ ПОЗДНЕГО ГОЛОЦЕНА

© Д. Ю. БОЛЬШИЯНОВ

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: bolshiyarov@aaig.ru

18-летние (2001—2018) наблюдения за уровнем воды на водомерном посту в северо-западной части Ладожского озера, сравнение хода уровня и балансовых характеристик (поверхностные приток и сток) привели к выводу о том, что многолетний ход уровня Ладожского озера в значительной мере определяется подземным притоком вод, имеющим периодичность в 5—7 лет. Сейсмоакустические исследования дна озера выявили структуры, по которым происходит разгрузка вод в озеро. Изучение низких аккумулятивных террас озера привели к выводу о современных амплитудах хода уровня воды в озере до 4 м. В прошлом, когда Ладожское озеро не имело стока по р. Неве, колебания уровня воды были более значительные, что вызывало повышенное стояние уровня (до 21 м над ур. м.) во время ладожских трансгрессий в конце голоцена.

Ключевые слова: Ладожское озеро, современные и многолетние колебания уровня воды, террасы, разгрузка грунтовых вод, причины ладожских трансгрессий.

Введение. Собственные наблюдения за уровнем воды Ладожского озера в течение последних 18 лет, изучение строения первой и второй террас на северо-западном побережье Ладожского озера показали, что колебания его уровня значительны в настоящее время и в прошлом, когда Ладожское озеро в течение голоцена испытывало трансгрессии и регрессии. Различными исследователями они объясняются тектоническими причинами — перекосом земной поверхности в зоне перехода от Балтийского кристаллического щита к Русской равнине. Наблюдения за уровнем и геоморфологические исследования привели к выводу о том, что причина ладожских трансгрессий связана с тектоникой не в виде перекоса земной поверхности, а посредством периодически происходящих разгрузок грунтовых вод в бассейне озера и, в частности, в его тектонически обусловленной котловине.

Для проверки такой гипотезы проведены следующие исследования.

1. Наблюдения уровня воды на водомерном посту в северо-западной части озера с 2001 г. по настоящее время.

2. Изучение геоморфологического и геологического строения первой и второй террасы северо-западного побережья Ладожского озера в ходе проведения полевых практик по геоморфологии и четвертичной геологии со студентами кафедры геоморфологии географического факультета (с 2014 г. — Институт наук о Земле) СПбГУ.

3. Использование данных геофизических исследований дна Ладожского озера в ходе экспедиции 2014 г.

Цель работы — изучение колебаний уровня Ладожского озера для выяснения причины ладожских трансгрессий и современных колебаний уровня.

Задачи работы — анализ уровенных наблюдений вместе с характеристиками стока основных питающих Ладожское озеро рек и вытекающей из него р. Невы; изучение строения террас Ладожского озера и тектонического строения его котловины.

Методы исследований. Наблюдения уровня воды на водомерном посту в северо-западной части озера проводятся с 2001 г. по настоящее время. Для этого на побережье озера организован водомерный пост в виде гранито-гнейсовой глыбы диаметром более 3 м, которая лежит в приурезовом положении в 8 км южнее г. Приозерска в точке с координатами $60^{\circ}58.852'$ с. ш., $30^{\circ}17.073'$ в. д. Высота глыбы-репера над «0» Балтийской системы высот 6.392 м. Водомерный пост (водопост) также оборудован основным репером, представляющим собой железную трубу, забетонированную в песок на глубину 2 м, в бровке второй террасы, в точке с координатами $60^{\circ}58.822'$ с. ш., $30^{\circ}16.994'$ в. д. Репер имеет высотную отметку 13.863 м над «0» Балтийской системы.

Для определения высот реперов проведено нивелирование от репера государственной геодезической сети в пос. Моторное, располагающегося в кирпичной стене магазина. Нивелировки производились студентами географического факультета СПбГУ, проходившими практику по геоморфологии и четвертичной геологии на побережье Ладожского озера под руководством автора. Высотные отметки реперов могут быть не совсем точны, но это не может повлиять на результаты измерений относительных колебаний уровня озера, которые и являются основными данными, используемыми в данной работе.

Измерения уровня проводятся речным способом от камня-репера и отнивелированных крупных обломков кристаллических пород, залегающих вокруг глыбы-репера на различных высотах. В зимнее время уровень воды измеряется прямым нивелированием от поверхности глыбы-репера до уровня воды в проруби. Ежегодно проводятся нивелировки между основным репером и глыбами, по которым осуществляется отсчет уровня. Они показали, что основная глыба-репер изменяет свою высоту в пределах первых сантиметров за 18 лет наблюдений, или такова точность нивелировок. Суточные наблюдения, проведенные в отдельные периоды, показали очень небольшую изменчивость в течение суток (первые сантиметры), если только не происходит быстрый подъем уровня в течение более длительного периода. Также на водопосту «Моторное» не выявлено явных сейшевых и нагонных колебаний уровня (все в пределах 10 см). Для определения репрезентативности полученного ряда уровенных наблюдений он сравнивался с наблюдениями на уровненом посту «Сторожно» в юго-восточной части Ладожского озера (рис. 1).

Организация собственного водомерного поста вызвана тем, что гидрологических данных по Ладожскому озеру, да и по другим водным объектам, в более или менее свободном доступе получить невозможно, количество по-

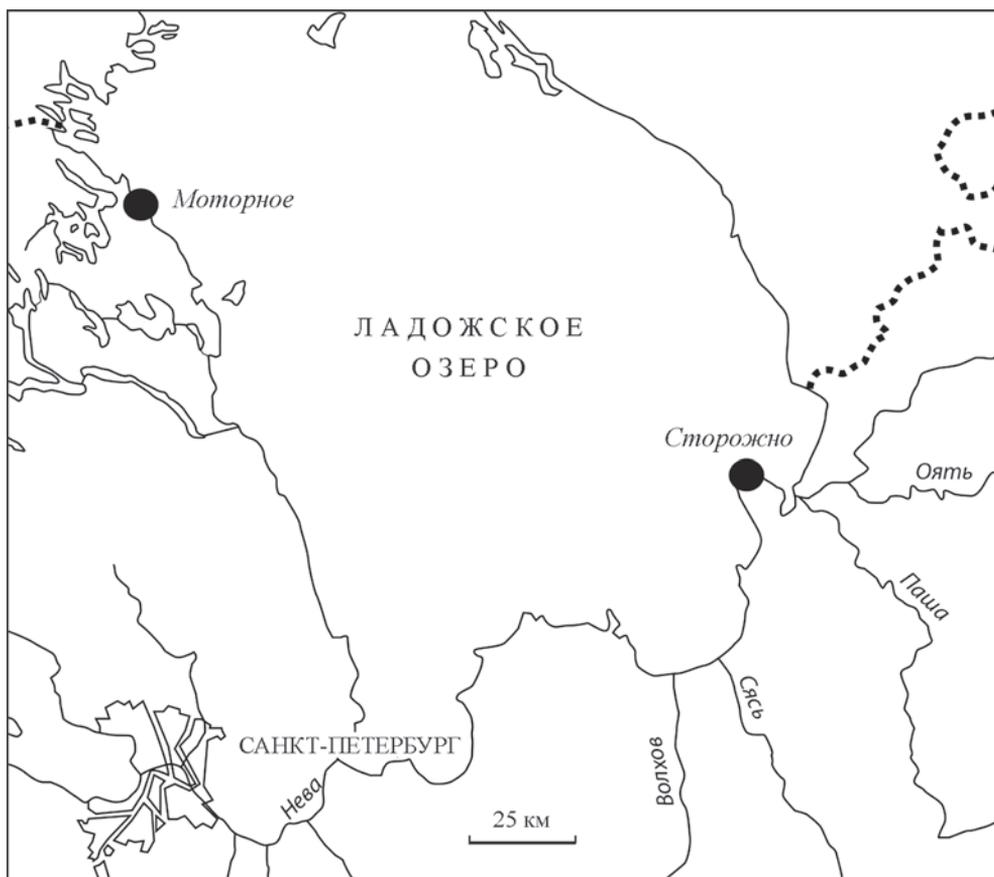


Рис. 1. Расположение водомерных постов «Моторное» и «Сторожно» на Ладожском озере.

стов резко сокращено в постсоветское время, качество материалов, особенно по уровненным наблюдениям, резко снизилось из-за того, что гидрометеостанции поставлены на грань выживания, что сильно влияет на качество получаемых данных. О плачевном состоянии сети наблюдений за уровнем воды в водоемах, например на обском севере, можно узнать из публикаций исследователей Арктического и антарктического научно-исследовательского института [2, 16].

Автором также проанализированы некоторые данные о стоке основных рек, впадающих в Ладожское озеро, и вытекающей из него р. Невы [4], что помогло разобраться в невязках баланса стока и оттока воды из озера.

Данные о колебаниях уровня в прошлом (XX в., голоцен) получены по результатам изучения геологического и геоморфологического строения первой и второй террас озера, хорошо развитых в районе пос. Моторное. Установление возраста террас произведено методом радиоуглеродного датирования, проведенного в Лаборатории геоморфологических и палеогеографических исследований полярных районов и Мирового океана им. В. П. Кёппена СПбГУ.

Для обоснования причин многолетних колебаний уровня использовались результаты геофизического изучения дна Ладожского озера, выполнявшегося в ходе экспедиции Института наук о Земле СПбГУ (кафедра геоморфологии),

Института водных проблем РАН и Центра анализа сейсмических данных МГУ им. М. В. Ломоносова, в которой автор участвовал в 2014 г.

Обзор гипотез ладожской трансгрессии. Ладожская трансгрессия, по мнению А. А. Иностранцева [7], вызвала затопление остатков неолитических поселений по берегам озера. Причины трансгрессии Г. Де Геер предположил в виде перемещения водных масс озера к югу из-за более быстрого поднятия северных берегов озера по отношению к южным [9]. Финский исследователь Ю. Айлио [21] обосновал существование в Ладожской котловине в суббореальное время самостоятельной трансгрессии, не связанной с развитием Балтики и названной им ладожской. Значительной разницы в высоте береговых линий ладожской трансгрессии (ЛТ) Ю. Айлио не видел и считал, что ЛТ довольно равномерно проявилась на всем побережье. Высота ее максимальной береговой линии на северном и южном берегах составляет до 23 м [20], максимум трансгрессии и образование р. Невы, по мнению Айлио, относятся к началу II тыс. до н. э. [9]. К. К. Марков [14] «понизил» высоту береговой линии ЛТ в южном Приладожье до 14—15 м и указал на то, что озеро с уровнем 22—23 м вообще не могло существовать, так как оно вылилось бы в Финский залив через Мгинско-Тосненский водораздел, имеющий абсолютную высоту лишь 18 м [15]. Б. Ф. Земляков [6] на основании изучения Нягеземской неолитической стоянки, перекрытой отложениями трансгрессии, установил более высокое положение уровня трансгрессии в долине р. Свири — до отметки 23.2 м. Е. Г. Шеффер [18], проследивший распространение древнеозерных отложений в южном Приладожье, также пришел к выводу о более высоком уровне трансгрессии, указывая предел ее распространения в интервале отметок 17—22 м. По данным современных исследований М. В. Шитова [19], уровень Ладожской трансгрессии превысил 11.5—14.0 м абс. высоты от 3000 до 2800 радиоуглеродных лет назад.

Гипотеза о более высоком положении береговых линий ЛТ на северном побережье озера относительно южного прочно вошла в арсенал исследований после работ Д. Д. Квасова [9], Б. И. Кошечкина [10], Б. И. Кошечкина и И. М. Экмана [11]. Тектоническая гипотеза перекоса земной поверхности в результате гляциоизостатических движений стала основной при объяснении ладожской трансгрессии и образования р. Невы. Лишь финские исследователи М. Саарнисто и А. Сириайнен [22] считают, что ЛТ связана со спуском воды и ее переливом в Ладожское озеро из Сайменской озерной системы.

Современные многолетние колебания уровня Ладожского озера. Как свидетельствуют известные исследования, колебания уровня Ладоги в течение года зависят от притока рек и от стока Невы. Так как уровни притоков озера колеблются в разное время, а площадь озера огромна, то колебания, обусловленные указанными причинами, отличаются плавным ходом. Уровень постепенно повышается с января по июнь, после чего постепенно понижается, т. е. в течение года вырисовываются всего две фазы. При повышении или понижении уровня на 1 см объем водной массы озера изменяется на 0.175 км³ [8]. Колебания уровня достигают амплитуды в 2.89 м по данным наблюдений монахов Валаамского монастыря. Необычное повышение воды в Ладожском озере, носившее характер бедствия, отмечено между 1921 и 1924 гг., когда разница водяного горизонта составила 9.5 футов (2.9 м) при смене низкого уровня 1921 г. подъемом в 1924 г. В период 1932—1958 гг. наиболее высокий средний годовой уровень (1958 г.) был 556 см и самый низкий (1940 г.) 364 см [8]. Денивеляции уровня, возникающие в результате сгонов—нагонов,

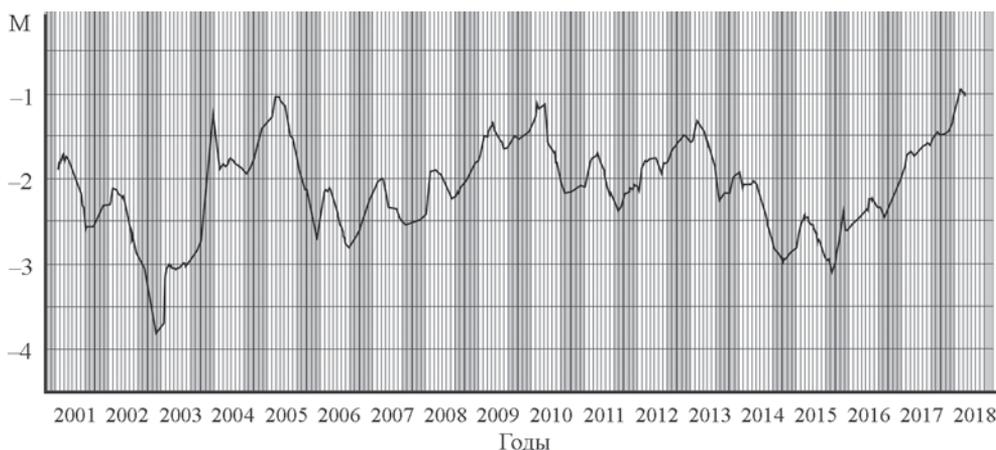


Рис. 2. График срочных наблюдений за уровнем воды Ладожского озера на водопосту «Моторное».

не превышают 10 см. Амплитуды сейш относительно невелики — от 3—5 до 28 см [8].

Согласно Атласу Ладожского озера [13], по данным самого длинного ряда уровневых наблюдений на водомерном посту о-ва Валаам наибольший среднегодовой уровень с отметкой 620 см наблюдался в 1924 г., а наименьший с отметкой 364 см — в 1940 г.

Наши наблюдения на водопосту «Моторное» в течение последних 18 лет показали (рис. 2), что уровень Ладожского озера далек от плавного хода при максимуме летом и постепенных подъемах и падениях в переходные сезоны [8, 13]. Напротив, уровень изменяется весьма значительно и часто в такие сезоны, когда поверхностный приток и сток минимальны. За небольшой период наблюдений (18 лет) уровень изменялся с амплитудой почти 3 м. Так, между 1 марта 2003 г. и 27 июня 2005 г. уровень в озере поднялся на 2.78 м, причем без явно выраженных спадов. Наиболее ярко неравномерность поведения уровня Ладожского озера проявляется в осенне-зимние сезоны. Из 18 лет наблюдений (2001—2018 гг.) в двенадцати случаях уровень активно поднимался в самое холодное время года с ноября по март, а еще в трех случаях поднимался незначительно. Максимальные подъемы 80 и 160 см наблюдались в ноябре—марте 2004—2005 и 2003—2004 гг. соответственно. С ноября 2016 г. по май 2018 г. уровень повысился на 151 см, причем практически непрерывно. Поступление наибольшего за год количества воды в озеро за осенне-зимнее время — сам по себе факт, заставляющий задуматься об источниках поступления воды.

Для того чтобы оценить правильность своих наблюдений по водопосту «Моторное», проделана работа по сравнению этих наблюдений со срочными наблюдениями уровня по посту «Сторожно», который расположен в юго-восточной части озера. В нашем распоряжении имеется ряд уровневых наблюдений с 1990 по 2005 г. [5], который и представлен на рис. 3. В целом ход уровней по обоим постам за один и тот же интервал времени похож. По посту «Сторожно» амплитуды перепадов уровня несколько занижены. Так, если по водопосту «Моторное» с 1 марта 2003 г. по 27 июня 2005 г. уровень повысился на 2.78 м, то за этот же период в «Сторожно» уровень увеличился только на 2.25 м. С апреля по декабрь 2002 г. падение уровня в «Сторожно» составило

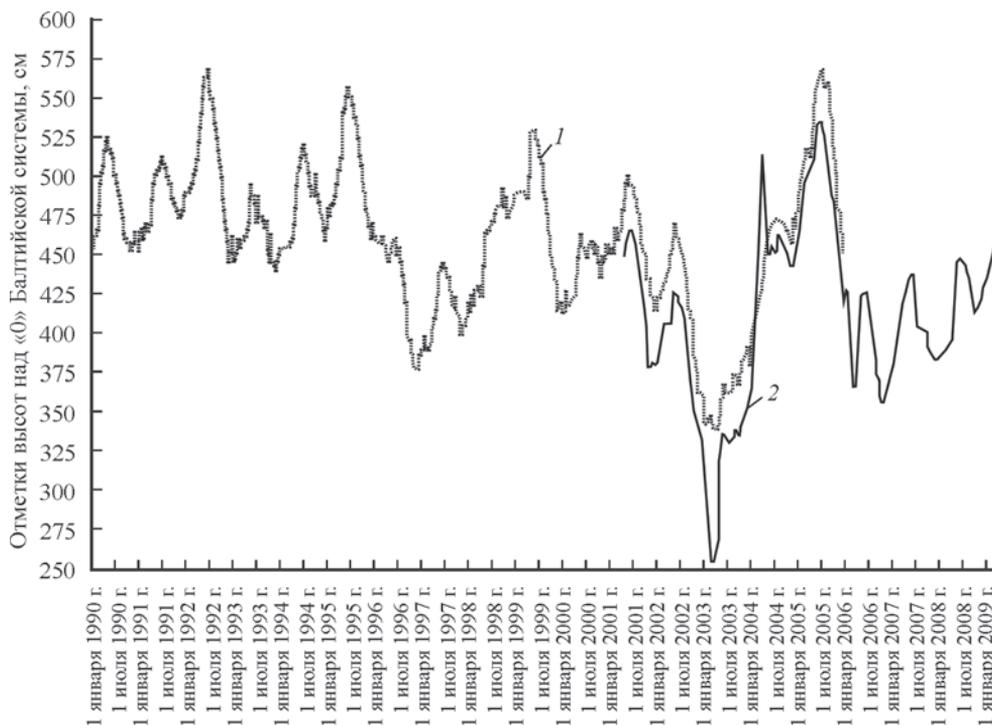


Рис. 3. Совмещенные графики срочных наблюдений за уровнем воды Ладожского озера по водопостам «Сторожно» и «Моторное».

1 — ход уровня на водопосту «Сторожно», 2 — ход уровня на водопосту «Моторное».

50 см, а в «Моторном» — 90 см. Время наступления пиков уровня более или менее совпадает на обоих постах. Несовпадение хода уровня по водопостам «Сторожно» и «Моторное» в абсолютных отметках можно отнести на неточность нивелирования водопоста в «Моторном». Однако эта разница в 20 см, выявляющаяся на сравниваемых кривых, для наших исследований значения не имеет, так как она слишком мала по сравнению с выявленными колебаниями уровня.

Для определения соответствия уровней приходящему и уходящему количеству воды необходимы данные по стоку в озеро вод и их оттоку по р. Неве. Эта процедура сравнения также проделана, на рис. 4 представлены кривые притока воды по трем крупнейшим рекам (Волхов, Свирь, Вуокса) и стока воды по р. Неве за период с 1990 по 2008 г. по данным [4]. При сравнении хода уровней и кривых стока выявляется полное несоответствие прихода и расхода воды ходу уровней, особенно в уже упомянутые осенне-зимние периоды, да и в летние тоже.

Например, если сравнить эти величины в уже отмеченные аномальные периоды изменений уровня, то можно отметить следующее. За январь—март 2004 г., когда уровень озера повысился на 1 м, что составило 17.5 км³ в пересчете на объем, в озеро поступило 21.3, а вытекло 17.43 км³ воды, т. е. поступило на 3.87 км³ больше, чем вытекло. Значит, уровень должен был повыситься на 22 см, а повысился на 1 м. Реально в озеро поступило на 14 км³ больше, чем пришло с поверхностным стоком.

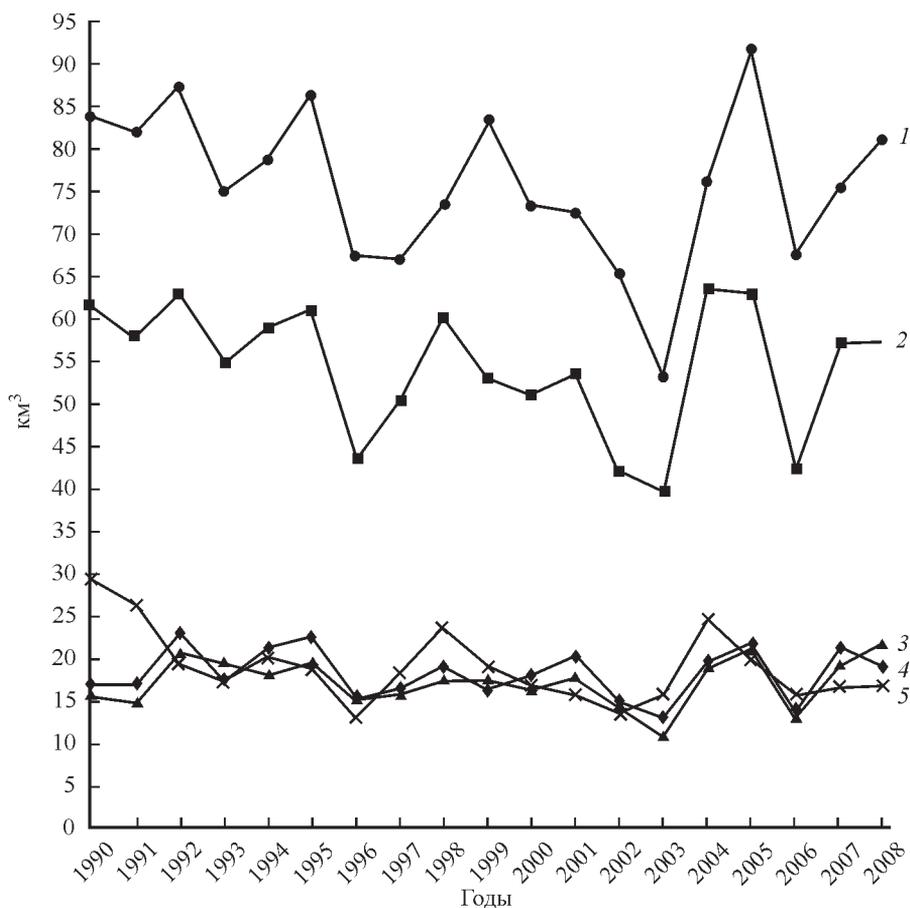


Рис. 4. Ежегодный объем стока воды рек Нева, Волхов, Свирь, Вуокса (км³).

1 — р. Нева, 2 — реки Волхов, Свирь и Вуокса в сумме, 3 — р. Вуокса, 4 — р. Свирь, 5 — р. Волхов.

В ноябре—марте 2004—2005 гг. в озеро прибыло 28.46, а убыло 28.12 км³, что должно было вызвать повышение уровня на 2 см, а реально уровень воды повысился на 60 см.

В период аномального повышения уровня с апреля 2003 г. по март 2004 г. в озеро поступило 47.72, а вытекло 56.10 км³, что означало бы понижение уровня на 42 см, в то время как уровень повысился на 1.9 м, что равноценно поступлению в озеро дополнительных как минимум 33 км³ воды.

Если взять короткие отрезки, за которые значительно возрастал уровень, то и здесь отмечается полное несоответствие баланса воды ходу уровня. Так, в 1990 г. с 22 февраля по 9 марта (15 дней) уровень по водопосту «Сторожно» вырос на 34 см, что эквивалентно поступлению 6 км³ воды. А по данным стока рек в озеро в этот период поступило всего 3.3, а вытекло 3.6 км³ воды. Откуда взялись «всего-то» 6 кубических километров воды, причем в самое холодное время года? Практически в любом году можно наблюдать ту же картину. В 1991 г. с 9 по 19 апреля уровень вырос на 30 см (5.4 км³), при этом в озеро поступило 5.8, вытекло 7.43 км³ воды за весь апрель.

Бывают такие аномальные периоды и в теплое время года. Например, с 11 по 15 июля 1993 г. уровень озера повысился на 17 см (3 км³), а за весь июль в озеро поступило 4.34, вытекло с поверхностным стоком 7.68 км³ воды.

Наблюдаются также эпизоды резкого падения уровня. В период с 23 сентября по 1 октября 1993 г. уровень упал на 19 см (3.42 км³), а в озеро поступило 4.14 и вытекло 7.18 км³ воды за весь сентябрь.

Таким образом, можно констатировать, что колебания уровня в Ладожском озере совсем не так просты, как принято в известных исследованиях [8, 13].

Приведенные сравнения не учитывают таких приходных и расходных статей водного баланса, как атмосферные осадки (600 мм [8]) и испарение с водного зеркала (300 мм [8]). Но эти величины на порядок ниже поверхностного притока и стока и в периоды, когда озеро находится под ледовым покровом, вообще могут не сказываться на водном балансе озера. Колебания уровня в холодный период года в значительно меньшей степени зависят от ветроволновых факторов или сейш, которые даже можно и не брать во внимание при анализе хода уровня воды.

Из возможных путей поступления воды в озеро остается лишь подземный сток, но он почему-то совсем не берется во внимание. Так, С. В. Калесник пишет: «По просьбе КЛЭ группа сотрудников кафедры гидрогеологии МГУ и сотрудник Государственного гидрологического института исследовали подземный сток в бассейне Ладожского озера (Зекцер и др., 1966). Подземный сток непосредственно в Ладогу оказался в среднем 1.296 км³. Величина эта, отнесенная к площади зеркала Ладожского озера, эквивалентна слою воды 73 мм» [8]. Неудивительно поэтому, что в одном из самых современных изданий по Ладожскому озеру [13] такая статья баланса, как подземный сток, вообще не рассматривается.

Вклад поверхностного притока в озеро может быть наглядно продемонстрирован данными наблюдений уровня в 2016—2017 гг. В течение летнего периода в бассейне Ладожского озера выпало осадков как минимум в 1.5 раза больше нормы. На рис. 2 подъем уровня в течение лета—осени вследствие большого поступления поверхностных вод с площади бассейна составил величину до 10 см. Зато в последовавший холодный период года — декабрь 2016—март 2017 гг., когда осадков в виде снега почти не накопилось, уровень стал быстро повышаться. На снегомерной площадке, расположенной в районе репера, снега вообще не накопилось к концу периода зимней аккумуляции снега в марте, что является необычным за последние 12 лет наблюдений. К концу зимы снега не было на площадке в 2014 и в 2017 гг. Уровень Ладоги с декабря по середину мая повысился на 0.7 м. Эти цифры показывают уровень значимости вклада поверхностного и подземного стока в Ладожское озеро. 10 сантиметров подъема уровня в течение аномально дождливого лета и 70 сантиметров (0.5 м с декабря по конец марта и 0.2 м — с апреля до середины мая) — в течение самого холодного периода вместе с половодьем, но в условиях очень малого снегонакопления в бассейне озера. Необходимо отметить также высокую водность основных притоков Ладоги весной 2017 г. Воды в реках Волхов и Вуокса было много, но опять же в условиях слабого снегонакопления в зимний период времени. Возможно, сравнительно высокая водность втекающих в Ладогу рек также может быть обусловлена подземным питанием. Скорее всего, периоды повышенного подземного стока не постоянны, а вода поступает в озеро из недр периодически. Зимой 2017/18 г. уровень р. Вуоксы также был аномально высоким и слегка подрос во время весеннего

**Средний многолетний водный баланс Ладожского озера
за период 1932—1958 гг. [8]**

	Объем, млн м ³	Слой воды, мм	%
Приход			
Атмосферные осадки	10714	606	13.2
Речной приток	67819	3836	85.0
Подземный приток	1290	73	1.8
Всего	79823	4515	100
Расход			
Сток из озера	73742	4171	92.4
Испарение	6081	344	7.6
Всего	79823	4515	100

снеготаяния, что сказалось и на повышении уровня Ладожского озера. В мае 2018 г. уровень Ладоги достиг максимальных отметок, по крайней мере за последние 25 лет наблюдений.

Сравнение притока и стока воды по крупнейшим рекам (рис. 4) также показывает, что есть очень значительная невязка в притоке по главным рекам и стоке из озера: по р. Неве ежегодно стекает в среднем на 25 км³ воды больше, чем втекает по крупнейшим рекам, а с учетом притока всех мелких рек по р. Неве вытекает на 15 км³ больше воды, чем втекает.

Таким образом, серия измерений уровня Ладоги, произведенных под руководством автора на водопосту «Моторное», сравнение этих наблюдений с ходом уровня на водопосту «Сторожно» и сопоставление уровенного хода с данными о стоке по основным рекам привели к выводу о том, что существующие представления о водном балансе Ладожского озера лишены такой важной составляющей баланса, как подземный сток, который в отличие от существующих представлений не ничтожен (см. таблицу), а значителен и сравним по объему с поверхностным стоком.

Строение и возраст первой террасы побережья Ладожского озера. Первая аккумулятивная терраса Ладожского озера развита на части побережья озера. Она хорошо выражена на восточном берегу озера в районе пос. Видлица. На западном берегу она прослеживается от Приозерска к бухте Владимирской. В районе пос. Моторное она изучалась нами в геологическом и геоморфологическом отношении.

Абсолютная высота бровки террасы колеблется и составляет в среднем 6.60 м. Ширина площадки террасы около 20 м. Она сложена кварцевыми песками с горизонтальной слоистостью. Пески образовались путем размыва и переотложения флювиогляциальных толщ, слагающих побережье в районе пос. Моторное. Эти пески и валунники вскрыты в местном карьере, глубина которого достигает 20 м.

В уступе террасы часто встречается древесина в виде обломков судов, углей кострищ. Этот материал был датирован радиоуглеродным методом, получены следующие датировки: 90±50 (ЛГУ-5490) и 1960 г. (ЛГУ-5484). Датировки характеризуют возраст террасы серединой прошлого века. Возраст сосен, растущих на террасе, по годичным кольцам не превышает 50 лет. Некоторые корпуса деревянных судов заброшены штормом на уровень первой террасы; произошло это событие (по результатам опроса местных жителей) именно в середине XX столетия. Значит, накопление песков с включениями древеси-

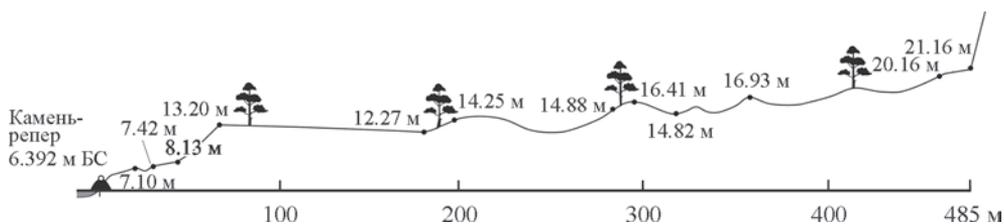


Рис. 5. Нивелирный профиль через реперный камень, первую и вторую террасы Ладожского озера в районе бухты Моторная.

Отметки высот над «0» Балтийской системы, м.

ны происходило в середине прошлого века. Отметив, что терраса расположена на высоте 6.6 м над ур. м., констатируем, что уровень воды в Ладожском озере должен был находиться в районе этой отметки или выше. Высокие уровни (до 6 м) зафиксированы в конце 50-х гг. XX столетия уровнемерными наблюдениями [12]. Однако геоморфологическое строение первой террасы предполагает повышение уровня озера в то время до отметок около 7—8 м над ур. м. Свидетельством этому являются столетние сосны, обнажившие свои корневые системы в результате подъема уровня озера до отметки не менее 7 м, так как сами деревья расположены на склоне второй террасы, на высоте около 9 м над ур. м. Таким образом, уровень Ладожского озера в середине XX столетия значительно превышал положение водной поверхности, зафиксированной уровнемерными наблюдениями, которые осреднены и приведены в литературе [13].

Строение и возраст террасы, отвечающей ладожской трансгрессии. Вторая терраса в районе пос. Моторное по результатам нивелирования имеет абсолютную высоту от 13.5 м в бровке до 21 м (± 0.2 м) в тыловом шве (рис. 5); ширина террасы — около 500 м. На поверхности террасы развита серия (от трех до шести) береговых валов высотой до 40 м, высотой до 2.5 м. Терраса сложена также кварцевыми песками, валунами и галькой, которые сюда перенесены в результате размыва озерными водами абразионного уступа, сложенного флювиогляциальными отложениями последнего оледенения. Понижения между валами местами заполнены торфяниками мощностью до 1 м. Под песками залегает водоупорный глинистый горизонт мощностью не менее 3—4 м, что установлено в результате ручного бурения. Возраст нижнего горизонта торфа, залегающего на песках и галечниках ладожской трансгрессии, отобранного из шурфа на второй террасе на высотной отметке 14—16 м над ур. м., составил 2570 ± 50 лет (ЛУ-5388). Торфяник образовался после регрессии озера, т. е. это минимальный возраст регрессии озера после ладожской трансгрессии (ЛТ). Эта датировка несколько противоречит данным о возрасте регрессии (2000 л. н.) из разрезов в различных частях побережья Ладоги [19], но соответствует представлениям других исследователей о резком падении уровня ЛТ после 3000 л. н. [1]. Таким образом, устанавливаем, что во время Ладожской трансгрессии уровень Ладоги в исследуемом районе повышался до 17 м по сравнению с современным уровнем или до 21 м над ур. м.

Тектонические структуры, выделяемые на дне Ладожского озера по данным сейсмоакустического профилирования. На рис. 6 представлена часть профиля сейсмоакустического профилирования, проведенного в северной части Ладожского озера в 2014 г. Профилирование показало чрезвычайно большое количество разломов земной коры, по которым происходят совре-

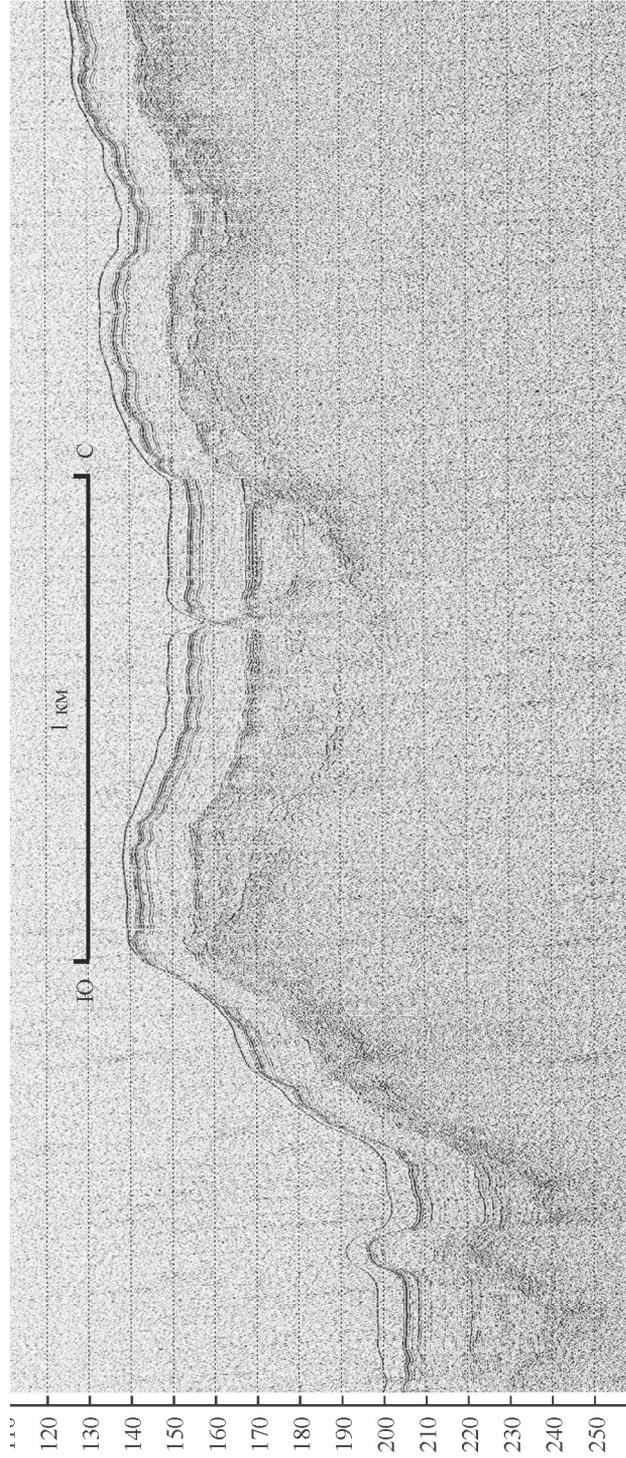


Рис. 6. Часть сейсмоакустического профиля в северной части Ладожского озера. В центре на дне воронкообразная структура с подводящим каналом, по которому производится разгрузка газов и подземных вод. Вертикальная шкала — время прохождения сейсмосигналов в микросекундах.

менные движения с амплитудой по вертикали до 25—30 м. Также есть и структуры типа пок-марков, по которым происходит разгрузка подземных вод. На рис. 6 видна воронкообразная впадина и подводящий канал. Между островами Воссинойсаари и Валаам при проведении сейсмоакустического профилирования засечено излияние вод или газов из подобной структуры в виде факела высотой 15—20 м на глубине дна 145 м. Выход газов и воды зафиксирован и в подводной долине, ориентированной с северо-запада на юго-восток к северу от о-ва Коневец.

Обсуждение результатов. Причины повышения уровня Ладоги во время ладожской трансгрессии. Вопрос о перекосе уровня Ладожской трансгрессии (на северных берегах выше, чем на южных) до сих пор не имеет определенного решения, хотя уже много десятилетий считается, что он однозначно решен. По Е. Г. Шефферу [18], высоты абразионных уступов к югу от Ладожского озера таковы: на р. Волхов к северу от дер. Александровский Остров — 17 м, на р. Сясь к северу от дер. Пульница — 19 м, на р. Паша у дер. Рыбежно — 22, по р. Лаве к югу от шоссе — 18 м. По Б. И. Кошечкину и И. М. Экману [11], основание абразионного уступа ладожской трансгрессии в долине Волхова на окраине дер. Ивановский Остров располагается на высоте 19.2 м (по результатам нивелирования, как указано в упомянутой работе). Близкая отметка была получена и восточнее, в долине р. Оять около триангуляционного пункта «Викшеньга». У дер. Горная Шальдиха береговая линия снижается до 14.8—15.5 м.

У финского исследователя Ю. Айлио даны следующие высоты основания уступа ЛТ: Путилово — 23.5 м (последний береговой вал 19 м), береговые валы на р. Сясь — 19.2, береговые валы Лут-Лахта (Свирь) — 20.3, береговые валы Олонец — 20.3—20.4, береговой вал Импилахти — 23.8, береговые валы у станции Шереметьевка (р. Нева) — до 18.3, основание уступа в Саккола (совр. Громово) на оз. Суванто — 20.4—20.6 м [21]. По обобщающим данным Б. И. Кошечкина [10], основание уступа ладожской трансгрессии на северных берегах озера варьирует от 11 до 26, а на юге — от 13 до 22 м. По всем этим данным существуют значительные расхождения в определении уровня максимума ЛТ. А высоты уступа ЛТ в 23.5 м у Путилова и у дер. Рыбежно в 22 м, которые располагаются к югу от озера, вообще не соответствуют гипотезе перекоса земной поверхности в результате неравномерности гляциоизостатических движений, так как с учетом этих данных никакого перекоса нет (на севере 23 м, и на юге тоже 23 м). После проведения нивелирования террас, береговых валов и уступа ЛТ в районе пос. Моторное (рис. 5) выявилось несоответствие с данными Айлио, который считал, что основание террасы у дер. Вуохенсало (Моторное) находится на высоте 22.3—22.6 м над ур. м. [21]. По нашим данным, здесь основание уступа находится на высоте 21 м. Во всяком случае ни в одной из работ, посвященных определению высоты ЛТ, нет первичных данных нивелирования, отчего вполне можно считать, что эти рассуждения не могут быть основанием утверждения о существовании каких-либо перекосов земной поверхности. Разброс высот при определении высот ЛТ наводит на мысль, что нивелировки во многих случаях проводились от уровня озера, а этот уровень, как обосновано выше, меняется в настоящее время с амплитудой до 4 м, отчего существует такой разброс в определении высот береговых линий. Таким образом, в приведенных рядах этих высот в более ранних исследованиях нет однозначного и определенного ответа на вопрос о существовании перекоса земной поверхности на профиле юг—север Ладожского

озера. Проанализированные публикации не дали ответа на вопрос, как и когда были получены высотные отметки уступа ЛТ. Раз так, то гипотеза об этом до сих пор и остается только гипотезой, но не установленным фактом.

Современными наблюдениями уровня Ладоги установлено, что с 2001 по 2018 г. он колебался в пределах 3 м. Геоморфологическое и геологическое строение первой аккумулятивной террасы Ладожского озера показало, что в середине XX в. уровень достигал как минимум 7-метровых отметок, что не отмечено многолетними наблюдениями на водопосту «Валаам» [13]. В этом случае амплитуда современных колебаний достигает 4 м. Интересно, что именно такие величины перекоса земной поверхности отмечены исследователями с севера на юг по побережьям Ладожского озера. Не являются ли определения высот форм ЛТ, не привязанные в публикациях ко времени, как раз зависящими от современных колебаний уровней Ладожского озера?

Сравнением хода уровня и стока впадающих рек и вытекающей р. Невы установлено, что подземное питание Ладожского озера может составлять величину, сравнимую с поверхностным стоком, которая не учитывается современными гидрологическими расчетами. Поступление подземных вод в озеро происходит очень быстро, часто в осенне-зимние сезоны.

Ладожское озеро занимает тектоническую впадину, как считает А. А. Никонов, — грабен, который лежит в пределах Ладожско-ботнической сейсмической зоны [17]. Разломы земной коры здесь сильно развиты, и примерно раз в 2000 лет здесь происходят землетрясения силой в 6 баллов. Кроме найденных на берегах Ладоги разрывов кристаллических пород, здесь также обнаружены отложения цунами, которые формировались в результате вызванных землетрясениями волн, набегавших на берега озера. Так это или не так — предстоит выяснить в будущем. Однако практически несомненным является то, что котловина Ладожского озера — это зона активных разломов земной коры, по которым осуществляется разгрузка подземных вод. Некоторые исследователи считают котловину Ладожского озера вулканом, начавшим действовать во время падения метеорита. Это довольно необычное и пока недоказанное предположение тем не менее обосновывает современное активное поступление газов и воды в озеро из земной коры [20]. Как в настоящее время, так и в прошлом в озеро дополнительно к поверхностному стоку добавляется весьма значительная доля стока подземного. Современные геофизические исследования показали наличие на дне структур типа пок-марков, по которым в озеро поступают как газы, так и вода. В настоящее время амплитуда уровня достигает 4 м. В прошлом, до образования р. Невы, при более закрытой системе Ладожского озера, такие поступления подземных вод могли приводить и к более значительным колебаниям уровня, что и фиксируется отложениями и береговыми линиями ладожской трансгрессии. Тогда уровень озера поднимался до 17 м выше современного. Таким образом, многолетние циклические колебания уровня Ладожского озера зависят от тектонических причин — зона разломов земной коры способствует разгрузке подземных вод.

Заключение. В результате выполненных гидрологических и геоморфологических исследований установлено следующее.

Колебания уровня Ладожского озера гораздо более сложны, чем принято в гидрологической литературе. Внезапные, быстрые повышения уровня часто не связаны с поверхностным стоком.

Изучение первой террасы Ладожского озера показало, что в середине XX в. уровень озера повышался до отметки не менее 7 м над ур. м.

Невязка уровней со стоковыми характеристиками показывает, что у озера есть дополнительный источник питания, который может быть только подземным. Ладожская трансгрессия, имевшая место 4.8—2.8 тыс. л. н., могла быть вызвана такими же поступлениями подземных вод, как и современные, но в условиях более ограниченного стока при отсутствии в то время р. Невы. На дне Ладожского озера геофизическими исследованиями выявлены структуры типа пок-марков, по которым и происходит разгрузка вод из земной коры и, вероятно, обратно. Современные исследования Ладожского озера и других крупных внутренних водоемов и арктических морей России абсолютно недостаточны для таких объектов. Ладожское озеро является источником водоснабжения крупнейшего мегаполиса Северо-Запада России — Санкт-Петербурга. Но на его берегах наиболее репрезентативные данные выдаются «любительскими» станциями, в то время как данных государственных станций нет в доступе или они неадекватны. Ведомственные интересы энергетических компаний, регулирующих сток в Ладогу, также не способствуют получению каких-либо данных о стоке воды в озеро. Научные исследования колебаний уровня проводятся методом моделирования процесса [3]. В них нет места реальным и современным колебаниям уровня воды Ладожского озера и других водоемов. Считается, что колебания уровня в реках и озерах давно изучены. Все изменения гидрологического режима водоемов традиционно объясняются изменениями климата, которые, однако, недостаточны для описанных колебаний уровня. В условиях кризиса наблюдательной гидрометеорологической системы в России в целом назрела и серьезная проблема в объективном понимании гидрологических процессов Ладожского озера.

Исследования, подобные данному, проводились и для крупнейшего озера-моря, расположенного частично в пределах России — Каспийского моря. На основании добротных данных было доказано, что колебания уровня Каспия связаны прежде всего с тектоническим строением его впадины и окружающих территорий, с разгрузкой подземных вод. Но эта работа М. И. Кривошей [12] до сих пор не упомянута ни в одном из современных исследований Каспийского моря. Немудрено, что хоть как-то спрогнозировать его колебания в ближайшем будущем не удавалось и не удастся никому, так как все прогнозы основаны лишь на приблизительной модели: сколько воды поступило — столько и испарилось. Так же моделируется водный баланс Ладожского озера — сколько воды втекло с реками, столько и вытекло. Но этот механизм недостаточен для объяснения колебаний уровня озера при современном уровне знаний.

Автор благодарен Е. А. Бурхович за выполнение геодезических работ на берегах Ладожского озера.

Работа поддержана грантом Русского географического общества 2018 г. «Комплексная Ладожская экспедиция».

Список литературы

- [1] Александровский А. Л., Арсланов Х. А., Давыдова Н. Н., Долуханов П. М., Зайцева Г. И., Кирпичников А. Н., Кузнецов Д. Д., Лавенто М., Лудикова А. В., Носов Е. Н., Савельева Л. А., Сапелко Т. В., Субетто Д. А. Новые данные относительно трансгрессии Ладожского озера, образования реки Невы и земледельческого освоения Северо-Запада России // Докл. АН. 2009. Т. 424, № 5. С. 682—687.

- [2] Голованов О. Ф., Пискун А. А., Терехова Р. А. Состояние высотной основы гидрологической сети Севера ЯНАО // Российские полярные исследования. 2012. № 4 (10). С. 38—41.
- [3] Догановский А. М., Давыденко Е. В. Уровенный режим крупных озер Европы в условиях меняющегося климата. Тез. докл. Всерос. конф. по крупным внутренним водоемам (V Ладужский симпозиум). СПб., 2016. С. 108—113.
- [4] Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Реки и каналы. Т. 1. Вып. 5. Бассейны рек Балтийского моря, Ладужского и Онежского озер. СПб.: СЗ территориальное управление по гидрометеорологии, 1992—2010.
- [5] Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Ч. 2. Озера и водохранилища. Т. 1. Вып. 5. Бассейны рек Балтийского моря, Ладужского и Онежского озер. СПб.: СЗ территориальное управление по гидрометеорологии, 1991—2010.
- [6] Земляков Б. Ф. Негежемская неолитическая стоянка // Тр. Комиссии по изуч. четвертичного периода. Л., 1932. Т. 2. С. 47—68.
- [7] Иностранцев А. А. Доисторический человек каменного века побережья Ладужского озера. СПб., 1882. XVI + 728 + 22 с.
- [8] Калесник С. В. Ладужское озеро Л.: Гидрометеиздат, 1968. 159 с.
- [9] Квасов Д. Д. Позднечетвертичная история крупных озер и внутренних морей Восточной Европы. Л.: Наука, 1975. 279 с.
- [10] Кошечкин Б. И. Геоморфология береговой зоны // История Ладужского, Онежского, Псковско-Чудского озер, Байкала и Ханки. Сер. История озер СССР. Л.: Наука, 1990. С. 22—26.
- [11] Кошечкин Б. И., Эжман И. М. Голоценовые трансгрессии Ладужского озера // Эволюция природных обстановок и современное состояние геосистемы Ладужского озера. СПб.: РАН, РГО, 1993. С. 49—60.
- [12] Кривошей М. И. Арал и Каспий (причины катастрофы). СПб., 1997. 132 с.
- [13] Ладужское озеро. Атлас. СПб.: Ин-т озероведения РАН, 2002. 129 с.
- [14] Марков К. К. Послеледниковая история юго-восточного побережья Ладужского озера // Вопр. географии. 1949. № 12. С. 213—220.
- [15] Марков К. К., Порецкий В. С., Шлямина Е. В. О колебаниях уровня Ладужского и Онежского озер в послеледниковое время // Тр. Комиссии по изуч. четвертичного периода. 1934. Т. 4, № 1. С. 71—129.
- [16] Пискун А. А. Состояние высотной основы и качество данных по уровням воды в Обско-Тазовской устьевой области // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. № 3 (86). С. 97—113.
- [17] Серков Д. Много шума из ничего // 24 часа. 2005. № 832. 9 июня. С. 2.
- [18] Шеффер Е. Г. Некоторые черты развития Южного Приладожья в голоцене // Вестн. ЛГУ. Геология, география. 1967. Вып. 2. С. 159—162.
- [19] Шитов М. В. Голоценовые трансгрессии Ладужского озера. Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. СПб.: СПбГУ, 2007. 17 с.
- [20] Юрковец В. П. Ладужская импактно-вулканическая структура как основной источник позднеплейстоценовых пеплов на Русской равнине // Фундаментальные проблемы квартара, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований. Матер. IX Всерос. совещ. по изуч. четвертичного периода (г. Иркутск, 15—20 сентября 2015 г.). Иркутск: Изд-во Ин-та географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2015. С. 526—528.
- [21] Ailio U. Die Geographische entwicklung des Ladogasees in postglazialer zeit und ihre beziehung zur steinzeitlichen besiedelung. Fennia. 38. Helsingfors, 1915. N 3. 157 p.
- [22] Saarnisto M., Siiriainen A. Laatokan transgressioraia // Eriaines Suomen museo. Helsinki, 1970. P. 10—22.

Поступило в редакцию
30 марта 2018 г.

Modern multi-year fluctuations of Ladoga lake water level and possible reason of the Late Holocene Ladoga transgression

© D. Yu. Bolshiyarov

Arctic and Antarctic Research Institute, Saint Petersburg, Russia
E-mail: bolshiyarov@aari.ru

Water level observations in the North-West part of Ladoga lake were made during 18 years (2001—2018). Comparison of water level fluctuations with inflow by tributaries and drainage by Neva river shows that multi-year level running is determined by ground water inflow with a periodicity of 5—7 years. Seismoacoustic investigations of Ladoga lake bottom revealed structures, which are the ways of water inflow to Ladoga lake from the Earth crust. Low terraces investigation along the shoreline led to conclusion that modern water level fluctuations amplitude during last decades is near 4 meters. In the past when Ladoga lake had no outflow through Neva river water level fluctuations were more substantial — up to 21 m above sea level during Ladoga transgression at the end of the Holocene.

Key words: Ladoga lake, modern and ancient water level fluctuations, terraces, ground water inflow, reasons of Ladoga transgressions.

References

- [1] *Aleksandrovsky A. L., Arslanov Kh. A., Davydova N. N., Dolukhanov P. V., Zaitseva G. I., Kirpichnikov A. N., Kuznetsov D. D., Lavento M., Ludikova A. V., Nosov E. N., Saveliya L. A., Sapelko T. V., Subetto D. A.* Novye dannye otnositel'no transgressii Ladozhskogo ozera, obrazovaniya reki Nevy i zemledel'cheskogo osvoeniya Severo-Zapada Rossii // Dokl. AN. 2009. T. 424, N 5. S. 682—687.
- [2] *Golovanov O. F., Piskun A. A., Terekhova R. A.* Sostoyanie vysotnoi osnovy gidrologicheskoi seti Severa YANAO // Rossiiskie polyarnye issledovaniya. 2012. N 4 (10). S. 38—41.
- [3] *Doganovskii A. M., Davydenko E. V.* Urovnenyi rezhim krupnykh ozer Evropy v usloviyakh menyayuschegosya klimata. Tez. dokl. Vseros. konf. po krupnym vnutrennim vodoemam (V Ladozhskii symposium). SPb., 2016. S. 108—113.
- [4] *Ezhegodnye dannye o reghime i resursakh poverhnostnykh vod sushi. Reki i kanaly. T. 1. Vyp. 5. Basseiny rek Baltiiskogo morya, Ladozhskogo i onezhskogo ozer. SPb.: Severo-zapadnoe territorial'noe upravlenie po gidrometeorologii, 1992—2010.*
- [5] *Ezhegodnye dannye o reghime i resursakh poverhnostnykh vod sushi. C. 2. Ozera i vodokhranilisha. T. 1. Vyp. 5. Basseiny rek Baltiiskogo morya, Ladozhskogo i onezhskogo ozer. SPb.: Severo-zapadnoe territorial'noe upravlenie po gidrometeorologii, 1991—2010.*
- [6] *Zemlyakov B. F.* Negezhemskaya neoliticheskaya stoyanka // Tr. Komissii po izuch. chetvertichnogo perioda. L., 1932. T. 2. S. 47—68.
- [7] *Inostrantsev A. A.* Doistoricheskii chelovek kamennojgo veka poberezh'ya Ladozhskogo ozera. SPb., 1882. XVI+728+22s.
- [8] *Kalesnik S. V.* Ladozhskoe ozero L.: Gidrometeoizdat, 1968. 159 s.
- [9] *Kvasov D. D.* Pozdnechetvertichnaya istoriya krupnykh ozer i vnutrennikh morei vostochnoi Evropy. L.: Nauka, 1975. S. 279 s.
- [10] *Koshechkin B. I.* Geomorphologiya beregovoï zony // Istoriya Ladozhskogo, Onezhskogo, Pskovo-Chudskogo ozer, Baikala i Khanki. Ser. Istoriya ozer SSSR. L.: Nauka, 1990. S. 22—26.
- [11] *Koshechkin B. I., Ekman I. M.* Golotsenovye transgressii Ladozhskogo ozera // Evolutsiya prirodnykh obstanovok i sovremennoe sostoyanie geosistemy Ladozhskogo ozera. SPb.: RAN RGO, 1993. S. 49—60.
- [12] *Krivoshei M. I.* Aral i Kaspïi (prichiny katastrofy). SPb., 1997. 132 s.
- [13] *Ladozhskoe ozero. Atlas. SPb.: Institut ozerovedeniya RAN, 2002. 129 s.*

- [14] *Markov K. K.* Poslednikovaya istoriya uygo-vostochnogo poberezh'ya Ladozhskogo ozera // *Vopr. geographii*. 1949. N 12. S. 213—220.
- [15] *Markov K. K., Poretskii V. S., Shlyamina E. V.* O kolebaniyakh urovnya Ladozhskogo i Onezhskogo ozer v poslednikovoe vremya // *Tr. Komissii po izuch. chetvertichnogo perioda*. 1934. T. 4, N 3. S. 71—129.
- [16] *Piskun A. A.* Sostoyanie vysotnoi osnovy i kachestvo dannykh po urovnyam vody v Obsko-Tazovskoi ust'evoi oblasti // *Problemy Arktiki i Antarktiki*. 2010. N 3 (86). S. 97—113.
- [17] *Serkov D.* Mnogo shuma iz nichego // *24 chasa*. 2005. N 832. 9 iyunya. S. 2.
- [18] *Shtffer E. G.* Nekotorye cherty razvitiya yuzhnogo priladozh'ya v golotsene // *Vestn. LGU. Geologiya, geographiya*. 1967. Vyp. 2. S. 159—162.
- [19] *Shitov M. V.* Golotsenovye transgressii Ladozhskogo ozera. Avtoref. dis. ... kand. geol.-miner. nauk. SPb.: SPbGU, 2007. 17 s.
- [20] *Yurkovets V. P.* Ladozhskaya impaktno-vulkanicheskaya struktura kak osnovnoi istochnik pozdnepleistotsenovykh peplov na Russkoi ravnine // *Fundamental'nye problemy kvartera, itogi izucheniya i osnovnye napravleniya dal'neishikh issledovaniy. Materialy IX Vseros. sovesch. po izuch. chetvertichnogo perioda (g. Irkutsk, 15—20 sentyabrya 2015 g.)*. Irkutsk: Isd-vo In-ta geographii im. V. B. Sochavy SO RAN, 2015. S. 526—528.
- [21] *Ailio U.* Die Geographische entwicklung des Ladogasees in postglazialer zeit und ihre beziehung zur steinzeitlichen besiedelung. Fennia. 38. Helsingfors 1915. № 3. 157 p.
- [22] *Saarnisto M., Siiriainen A.* Laatokan transgressioraia // *Eriaines Suomen museo. Helsinki*, 1970. P. 10—22.

Изв. РГО. 2018. Т. 150, вып. 4

БОЛОТА ВОЛОГОДСКОЙ ЧАСТИ ВЕПСОВСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

© М. Г. НОСКОВА^{*}, В. А. СМАГИН^{*, 1}, Д. А. ФИЛИППОВ^{**, 2},
В. П. ДЕНИСЕНКОВ^{***, 3}

^{*} Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург

^{**} Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН, пос. Борок Ярославской обл.

^{***} Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле

E-mail: ¹ amgalan@list.ru

² philippov_d@mail.ru

³ biogeo_spb@mail.ru

В пределах Бабаевского района Вологодской области были обследованы три крупные болотные системы, расположенные на Вепсовской возвышенности (от 60°02'N, 35°36'E до 60°14'N, 35°10'E) — болота Доброозерское, Большое и Верковское, общей площадью около 200 км². Исследованные болота характерны для Вепсовской возвышенности, но отличаются от типичных для таежной зоны выпуклых грядово-мочажинных болот высокой долей проточных топей, участков с коврово-мочажинно-озерковым и топяно-озерковым микрорельефом, где мочажины и топи заняты шейхцериевыми сообществами. Специфическому набору современных болотных участков соответствует и состав торфяной залежи, в которой существенную роль играет шейхцериевый торф. Строение залежей отражает историю развития этих верховых болот в условиях постоянного обильного поступления воды и проточности. На болотах были обнаружены популяции 11 редких и охраняемых в Вологодской области видов растений.

Ключевые слова: верховые болота, болотные участки, Вепсовская возвышенность, Вологодская область.