

УДК 551.4.013→551.89(470.2)

© 2019 г. Д.А. СУБЕТТО^{1,2,*}, М.С. ПОТАХИН¹, М.Б. ЗОБКОВ¹, А.Ю. ТАРАСОВ^{1,3},
Т.С. ШЕЛЕХОВА^{1,4}, В.А. ГУРБИЧ¹

РАЗВИТИЕ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА В ПОЗДНЕЛЕДНИКОВЬЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГИС-МОДЕЛИРОВАНИЯ

¹ *Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия*

² *Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена,
Санкт-Петербург, Россия*

³ *Институт языка, литературы и истории КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия*

⁴ *Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия*

*E-mail: dsubetto@nwpi.krc.karelia.ru; subetto@mail.ru

Поступила в редакцию 16.03.2017

После доработки 03.10.2017

Принята к печати 09.10.2018

Представлена модель возможного развития Онежского озера в позднеледниковье (14.5–12.3 тыс. л. н.), разработанная с применением программных средств ГИС, цифровых моделей рельефа котловины озера, его водосборного бассейна и прилегающих территорий, верифицированная по существующим данным о стратиграфии донных отложений озера. В качестве исходной модели использована концепция дегляциации котловины Онежского озера И. Н. Демидова. Выделены основные этапы формирования озера, для которых построена серия детальных электронных картосхем. 1 — начало формирования приледникового озера в результате таяния ледника (14.5 тыс. л. н.). 2 — освобождение южной и центральной частей котловины озера от ледникового покрова (14.0 тыс. л. н.). 3 — максимальное развитие приледникового озера (13.3 тыс. л. н.). 4 — I-я регрессия (13.2 тыс. л. н.). 5 — II-я регрессия (12.4 тыс. л. н.). 6 — III-я регрессия (12.3 тыс. л. н.). Рассчитаны площади, объемы максимальные и средние глубины палеоводоема для различных временных интервалов. Площадь и объем озера изменялись от 27 тыс. км² и 180 км³ 14.5 тыс. л. н. на начальной стадии развития до 33 тыс. км² и 1600 км³ 13.3 тыс. л. н. во время максимальной стадии. Полученные оценки послужат основой для расчета объемов стока и залпового сброса воды при трансгрессиях. Подготовленный в результате работы картографический материал доступен в электронной форме.

Ключевые слова: Онежское озеро, палеореконструкции, позднеледниковье, ГИС, цифровая модель рельефа.

<https://doi.org/10.31857/S0435-42812019383-90>

LAKE ONEGO DEVELOPMENT IN THE LATE GLACIAL ASSESSED WITH THE USE OF GIS TECHNOLOGIES

D.A. SUBETTO^{1,2,*}, M.S. POTAKHIN¹, M.B. ZOBKOV¹, A.Yu. TARASOV^{1,3},
T.S. SHELEKHOVA^{1,4}, V.A. GURBICH¹

¹ Northern Water Problem Institute of the Karelian Research Center of the RAS, Petrozavodsk, Russia

² Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint-Petersburg, Russia

³ Institute of Language, Literature and History of the Karelian Research Center of the RAS, Petrozavodsk, Russia

⁴ Institute of Geology of the Karelian Research Center of the RAS, Petrozavodsk, Russia

*E-mail: dsubetto@nwpi.krc.karelia.ru; subetto@mail.ru

Received 16.03.2017

Revised 03.10.2017

Accepted 09.10.2018

S u m m a r y

The GIS-based reconstructions of Lake Onego development in the Late Glacial (14500–12300 yrs ago) were performed. Reconstructions have been based on the deglaciation model of the Lake Onego depression, digital elevation model of the lake depression, SRTM model of its drainage basin and on the data obtained from the palaeolimnological studies of numerous lake sediment cores. This allowed us to distinguish six main stages of the lake development for which a series of detailed schemes were produced. 1. Formation of the ice-dammed lake as a result of the ice sheet retreating (14.5 cal ka BP). 2. Emerging of the southern and central parts of the lake basin from the ice cover (14.0 cal ka BP). 3. The maximum development of the proglacial lake (13.3 cal ka BP). The lake area in this period was around 33000 km². 4. The first regression (13.2 ka BP). 5. The second regression (12.4 ka BP). 6. The third regression (12.3 ka BP), when the area of the lake dropped to 18000 km². We created detailed digital maps of the main stages of Lake Onego development during the Late Glacial and calculated the spatial parameters of the lake. The quantitative data obtained in this study would be used in estimation of the volumes of the lake and outflow discharges in the past. Maps are available in electronic form.

Keywords: Lake Onego, paleoreconstructions, Late Glacial, GIS, Digital Elevation Model.

Введение

Онежское озеро — второй по величине пресноводный водоем Европы. Площадь водной поверхности составляет 9700 км², а объемом превышает 295 км³ [2]. Озерная котловина расположена в глубокой тектонической депрессии на границе двух геологических структур — Фенноскандинавского (Балтийского) кристаллического щита и Русской плиты. Во время формирования плейстоценовых скандинавских оледенений она неоднократно была вмещением ледниковых потоков, а в межледниковые периоды заполнялась водами морских и пресноводных водоемов [2]. Существует ряд авторских моделей развития котловины Онежского озера в позднеледниковье: М. Н. Порывкина [3], Г. С. Бискэ [4], Д. Д. Квасова [5], М. Saarnisto [6], И. Н. Демидова [1, 7] и др. Все эти модели по-разному оценивают уровни и размеры Онежского приледникового озера, а также гляциоизостатическое поднятие его берегов.

Масштабы покровного оледенения, положение и размеры приледниковых водных бассейнов, а также процессы, происходившие в их экосистемах, остаются одними из самых актуальных проблем современной палеолимнологии. При моделировании природных обстановок прошлого широкое применение нашли инструменты компьютерной картографии, в частности, с применением геоинформационных систем (ГИС) [8–11].

В нашей работе геоинформационные технологии используются для моделирования развития береговой линии Онежского озера и реконструкции этапов развития озера в позднеледниковье на основе обобщения сведений по колонкам донных отложений озер расположенных в пределах границ максимальной стадии развития Онежского приледникового озера.

Материалы и методы

Реконструкция развития Онежского озера в позднем плейстоцене была проведена с помощью современных программных средств ГИС на основе разработанной цифровой модели рельефа (ЦМР) котловины водоема и его водосборной территории [12]. Для построения цифровой модели в качестве основного рабочего инструмента применялось программное обеспечение фирмы Esri (ArcGIS for Desktop 10.2 с пакетом Spatial Analysis). Для моделирования водосборной территории нами была использована цифровая модель с Интернет-ресурса “ViewfinderPanoramas” [13], которая основана на ЦМР SRTM Геологической съемки США и имеет пространственное разрешение 90 м.

Данные о строении котловины получены с навигационных карт Онежского озера. Привязка положения береговой линии и островов осуществлялась при помощи спутниковых снимков с пространственным разрешением 50 м. Промеры глубин были оцифрованы в проекции UTM Merkator WGS 84, зона 36 для северного полушария. Расчет сетчатого файла производился в Surfer 10 с использованием метода кригинга, шаг сетки составлял 20 м. Затем ЦМР водосбора и котловины озера были совмещены с помощью ArcGIS for Desktop 10.2, пространственное разрешение получившейся модели 90 м.

При выполнении реконструкций учитывался перекос озерной котловины, возникший в результате прогиба земной коры под воздействием ледникового щита, а также последующего изостатического поднятия. Палеоуровень приводился к современной отметке уреза воды (33 м БС) путем преобразования цифровой модели рельефа. Для этого высотные данные интерполировались трехмерным полиномом 1-й степени с использованием Surfer 10 и вычислялся растр геостатического поднятия, отражающий величину изменения высотных отметок рельефа. В качестве входных данных для расчета растра служили разности отметок палеоуровней и современного уровня озера. Далее производилось вычитание растра геостатического поднятия из растра водосборной территории, содержащего котловину озера. Палеоуровень озера для периода 13.3 тыс. л. н. строился по отметке уреза воды, приведенной к современной (33 м). Для других временных интервалов — путем построения изолиний по отметкам $33 \text{ м} \pm \Delta h$, где Δh — разница в положении вертикальных отметок исследуемого периода и 13.3 тыс. л. н.

Отметки уровня водоема в различные геологические периоды заимствованы из литературных источников [1, 4–7, 14–18 и др.]. Эти, а также новые данные, полученные нами в ходе полевых исследований, были обобщены в базе данных PaleoOnego [19], включающей в себя детальное описание 60 разрезов донных отложений. В общей сложности для реконструкций было использовано более 30 высотных отметок.

В качестве исходной концепции для палеореконструкций была принята поэтапная модель деградации котловины Онежского озера, предложенная И. Н. Демидовым [1]. По приведенной выше методике были реконструированы шесть основных этапов развития котловины озера в позднеледниковье [1, 7].

Результаты

Реконструированы шесть основных этапов развития Онежского озера в позднеледниковье (рис. 1–6) и определены некоторые его морфометрические характеристики. Подготовленный в результате работы картографический материал доступен в электронной форме [20]. Для каждого из этапов рассчитана площадь водоема. Результаты реконструкций согласуются с моделью развития котловины Онежского озера в позднеледниковье И. Н. Демидова [1, 7],

I этап (рис. 1). Начало формирования приледникового озера в результате таяния ледника (14.5 тыс. л. н.). В настоящее время его уровень фиксируется на отметках 120–130 м [5]. В дальнейшем уровень снизился до 106 м из-за размыва рыхлых отложений на пороге стока Ошта-Оять в юго-западной части котловины. Площадь водоема в этот период не превышала 3000 км².

II этап (рис. 2). Освобождение южной и центральной частей котловины озера от ледникового покрова (14.0 тыс. л. н.). Таяние ледника вследствие продолжающегося потепления климата приводит к смещению его границ к северу. Площадь водоема в этот период достигла 14000 км².

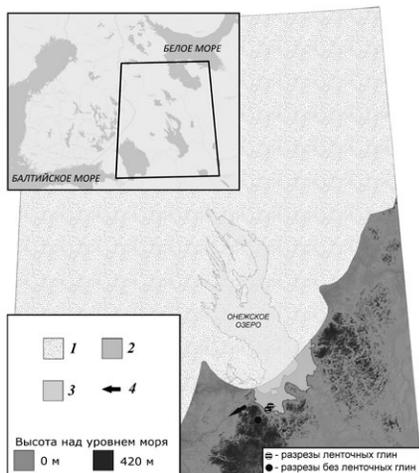


Рис. 1. Начальная стадия формирования Онежского приледникового озера (14.5 тыс. л. н.)
1 — ледник; 2 — палеоуровень озера; 3 — современный уровень озера; 4 — направление стока



Рис. 2. Освобождение котловины Онежского озера (14.0 тыс. л. н.)
Усл. обозначения см. рис. 1



Рис. 3. Максимальное развитие Онежского приледникового озера (13.3 тыс. л. н.)
Усл. обозначения см. рис. 1

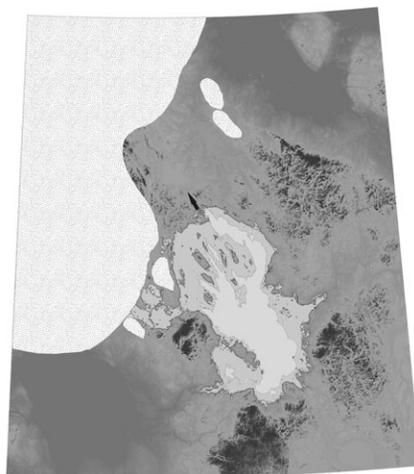


Рис. 4. Первая регрессия Онежского озера (13.2 тыс. л. н.)
Усл. обозначения см. рис. 1

III этап (рис. 3). Максимальное развитие приледникового озера (13.3 тыс. л. н.). Озеро достигло наибольших размеров, его уровень в настоящее время фиксируется на отметках 140 м на западе и 115 м на востоке, 120–125 м на севере и 75–85 м на юге [1, 7]. Площадь водоема в этот период составляла около 33 000 км².

IV этап (рис. 4). I-я регрессия (13.2 тыс. л. н.). На этом этапе регрессии уровень озера понизился не более чем на 10 м [1], площадь водоема уменьшилась до 26 000 км².

V этап (рис. 5). II-я регрессия (12.4 тыс. л. н.). Уровень озера снизился примерно на 15 м [7]. Площадь водоема сократилась до 24 000 км².

VI этап (рис. 6). III-я регрессия (12.3 тыс. л. н.). Падение уровня водоема составило примерно 20 м [1]. Площадь водоема уменьшилась до 18 000 км².

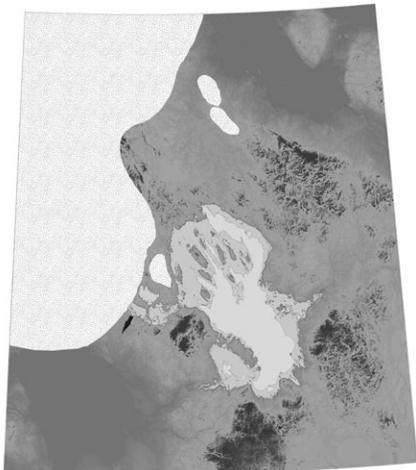


Рис. 5. Вторая регрессия Онежского озера (12.4 тыс. л. н.)

Усл. обозначения см. рис. 1

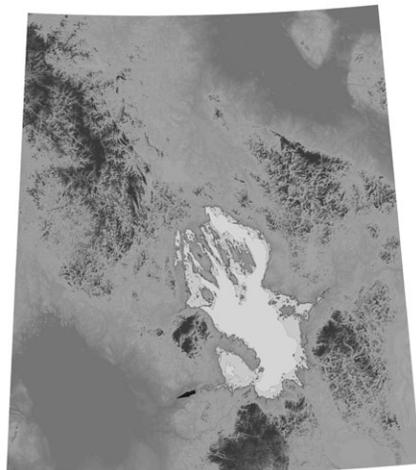


Рис. 6. Третья регрессия Онежского озера (12.3 тыс. л. н.)

Усл. обозначения см. рис. 1

Обсуждение

Исследование и моделирование изменения пространственных характеристик Онежского озера позволило провести качественную и количественную реконструкцию палеогеографических изменений в регионе в позднем плейстоцене. Для проверки достоверности выполненных интерполяций проведено их сравнение с палеорекострукциями И. Н. Демидова [1, 2, 7]. Сравнение очертания линий берегов и островов, изображенных на картосхемах, а также отметок уровня воды для отдельных участков выявило, что положения береговой линии и ее общие очертания на полученных схемах сопоставимы с палеорекострукциями выполненными ранее (рис. 7). При этом следует отметить, что наши реконструкции, выполненные на основе цифровой модели рельефа с использованием программных средств ГИС, более детальны и позволили рассчитать ряд пространственных характеристик озера на различных этапах его развития.

Начальный этап формирования озера связан с потеплением климата в бёллинговом межстадиале, обусловившем интенсивное таяние ледника и его отступление от краевых образований лужской стадии. Это привело к тому, что около 14.5 тыс. л. н. в районе южного побережья современного Онежского озера стал формироваться приледниковый водоем (рис. 1). Возможно, на самых ранних этапах развития Онежское приледниковое озеро входило в систему Верхневолжских озер, для которых был характерен уровень 120–130 м [5]. Чуть позже, около 14.4 тыс. л. н., произошло открытие стока в юго-западном направлении в бассейн Балтики по долине рек Ошта — Тукша — Оять и снижение уровня приледникового озера до 106 м [1].

Продолжающееся в аллерёде потепление способствовало таянию ледника и постепенному освобождению озерной котловины ото льда. Около 14.3 тыс. л. н. край ледника отступил из района современной долины р. Свири и Онежское приледниковое озеро получило новый, более низкий порог стока [17]. В результате уровень водоема в южной части упал до 85–75 м и сохранялся на этих отметках на протяжении почти 900 лет [7]. Около 14.0 тыс. л. н. северная часть озерной котловины, включая Заонежский полуостров, все еще была занята льдом (рис. 2). На северо-западе край ледника протягивался вдоль северных границ Шуйской низменности, где в это время существовал приледниковый водоем. Площадь озера увеличивается до 14 000 км².

Около 13.3 тыс. л. н. (к концу аллерёда) Онежское приледниковое озеро достигло максимальных размеров (33 000 км²), превысив современные размеры более чем в три раза, и вышло далеко на север за пределы современного водосбора (рис. 3). Край ледника протягивался от северного побережья Ладожского озера к Белому морю, при этом водоем оставался

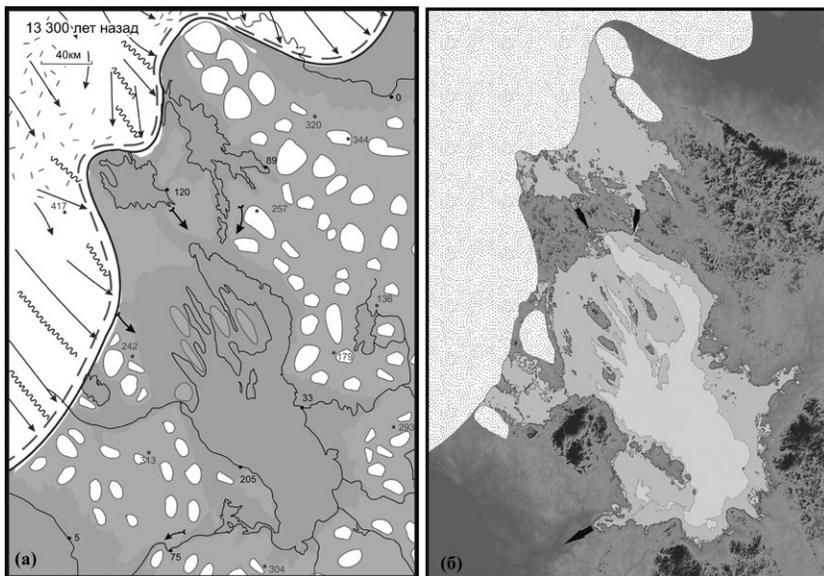


Рис. 7. Сравнение палеореконокструкций Реконструкции: (а) — И. Н. Демидова [1, 2, 7], (б) — выполненные авторами статьи. Усл. обозначения см. рис. 1

прогляциальным и непосредственно контактировал с краем ледника на западных побережьях современных озер Выгозеро, Сегозеро, Сямозеро, Шотозеро. Он включал современные озерные котловины Сегозера и Выгозера которые находятся сейчас на отметках от 140 м на западе до 115 м на востоке, Шуйскую низменность в пределах современных отметок 120–130 м и значительные площади Водлинской и Ивинской низменностей [5]. В районе Медвежьегорска и Петрозаводска уровень Онежского приледникового озера в настоящее время фиксируется на отметках 120–125 м, в южном Прионежье — 85–75 м [1]. В этот период на дне приледникового водоема отлагались типичные ленточные глины.

Масштабная регрессия в конце аллерёда—начале позднего дриаса происходила в несколько этапов [1]. Об этом свидетельствует строение и положение высотных отметок порогов стока и основных флювиогляциальных дельт, а также положение края ледника во время регрессии. Снижение уровня отразилось на строении береговых и донных отложений водоема. На первом этапе регрессии озеро получило новый северный порог стока в котловину Белого моря, что привело к снижению уровня пра-Онеги на 10 м [1]. Уровень воды в озере определялся высотой порога стока на Онежско-Выгозерском водоразделе (рис. 4). Отделились котловины Сегозера и Выгозера, площадь водоема сократилась почти в полтора раза.

На втором этапе возник новый западный порог стока через северную часть Онежско-Ладожского водораздела в котловину Ладожского озера (рис. 5), залитую в то время водами другого крупного приледникового озера — Балтийского. Уровень озера значительно снижается, после чего на протяжении почти всего позднего дриаса, наступил длительный (почти 1000 лет) период его стабилизации. Существует предположение, что в результате снижения уровня воды в Онежском озере изменилась гидрохимическая обстановка на границе вода—донные отложения. Это вызвало окисление приповерхностного горизонта донных осадков и формирование маркирующего горизонта розовато-коричневатых ленточных глин (“розового” горизонта) мощностью 10–15 см, широко распространенного практически по всей площади дна Онежского приледникового водоема [1].

В конце позднего дриаса, около 11.5 тыс. л. н., после возобновления стока через долину р. Свирь в Ладожское озеро, произошла очередная регрессия Онежского озера (рис. 6), уже потерявшего связь с отступившим на запад краем ледника [1]. Существенное снижение уровня воды привело к осушению больших площадей в береговой зоне, и значительному врезанию рек и сокращению на треть площади водоема.

Заключение

Разработана цифровая модель рельефа котловины Онежского озера и его водосбора. На ее основе с применением программных средств ГИС проведены палеогеографические реконструкции уровня озера в шесть основных этапов развития котловины озера в позднеледниковье. Построена серия детальных картосхем и рассчитаны площади водоема для основных этапов развития озера в позднеледниковье. Морфометрические и гидрологические характеристики озера значительно изменялись в процессе его формирования. Таяние ледника и климатические изменения позднего аллерёда (около 13.3 тыс. л. н.) привели к увеличению площади озера до 33000 км², превышавшей более чем в 3 раза его современный размер. Детальные реконструкции согласуются с концепцией развития котловины Онежского озера в позднеледниковье. Подтверждено, что масштабная регрессия, имевшая место в конце аллерёда — начале позднего дриаса, проходила в три этапа, как это было предложено И. Н. Демидовым в модели дегляциации котловины Онежского озера [1, 7], а также уточнены места расположения основных порогов стока. Полученные количественные данные о пространственных характеристиках озера послужат основой для расчета объемов водоема и объема стока.

Благодарности. Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда (проект № 14-17-00766 “Онежское озеро и его водосбор: история геологического развития, освоение человеком и современное состояние”).

Acknowledgments. The study has been financially supported by the Russian Science Foundation (project 14-17-00766 “Lake Onego and its watershed: geological history, anthropogenic transformation and current state”).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демидов И. Н. О максимальной стадии развития Онежского приледникового озера, изменении его уровня и гляциоизостатическом поднятии побережий в позднеледниковье // Геология и полезные ископаемые Карелии. 2006. Вып. 9. С. 171-182.
2. Онежское озеро. Атлас / Отв. ред. Н. Н. Филатов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. 151 с.
3. Порывкин М. Н. Образование поперечных террас реки Вытегра и история развития Онежского озера // Тр. Гидропроекта. 1960. Сб. 3. С. 221-233.
4. Бискэ Г. С., Лак Г. Ц., Лукашов А. Д., Горюнова Н. Н., Ильин В. А. Строение и история котловины Онежского озера // Тр. Ин-та геологии КФ АН СССР. 1971. Вып. 7. 74 с.
5. Квасов Д. Д. Происхождение котловины Онежского озера // Палеолимнология Онежского озера. Л.: Наука, 1976. С. 7-40.
6. Saarnisto M., Grönlund T., and Ekman I. Lateglacial of Lake Onega — contribution to the history of the eastern Baltic basin // Quaternary International. 1995. Vol. 27. P. 111-120.
7. Демидов И. Н. Деградация позднеледникового оледенения в бассейне Онежского озера // Геология и полезные ископаемые Карелии. 2005. Вып. 8. С. 134-142.
8. Jakobsson M., Björck S., Alm G., Andréén T., Lindeberg G., and Svensson N.-O. Reconstructing the Younger Dryas ice dammed lake in the Baltic Basin: bathymetry, area and volume. Global and Planetary Change. 2007. Vol. 57. P. 355-370.
9. Лаврентьев Н. В., Чепальга А. Л. Опыт применения ГИС-технологий для реконструкций береговых линий хвалынского бассейна (на примере Прикаспийской низменности) // Геоморфология. 2008. № 3. С. 66-73.
10. Vassiljev J. and Saarse L. Timing of the Baltic Ice Lake in the eastern Baltic // Bulletin of the Geological Society of Finland. 2013. Vol. 85. P. 9-18.
11. Habicht H.-L., Rosentau A., Joeleht A., Heinsalu A., Kriiska A., Kohv M., Hang T., and Aunap R. GIS-based multiproxy coastline reconstruction of the eastern Gulf of Riga, Baltic Sea, during the Stone Age // Boreas. 2017. Vol. 43 (1). P. 83-99.
12. Зобков М. Б., Субетто Д. А., Тарасов А. Ю., Потахин М. С. Применение ГИС для реконструкции береговой линии Онежского озера в различные климатические периоды // Водные ресурсы: изучение и управление. Т. 1. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2016. С. 190-198.
13. Ferranti J. Digital Elevation Data. [Электронный ресурс] // Информационно-справочный портал. Режим доступа: <http://viewer.panoramias.org/dem3.html> (дата обращения: 01.03.2017).
14. Елина Г. А., Лукашов А. Д., Юрковская Т. К. Позднеледниковье и голоцен Восточной Фенноскандии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2000. 241 с.
15. Шелехова Т. С., Васьюк О. В., Демидов И. Н. Палеоэкологические условия развития северо-западного Прионежья в позднеледниковье и голоцене // Геология и полезные ископаемые Карелии. 2005. Вып. 8. С. 149-157.

16. Ekman I. and Iljin V. Deglaciation, the Young Dryas end moraines and their correlation in Russian Karelia and adjacent areas // *Glacial deposits in North-east Europe*. Balkama. Rotterdam, 1995. P. 195-209.
17. Saarnisto M. and Saarinen T. Deglaciation chronology of the Scandinavian Ice Sheet from the lake Onega basin to the Salpausselkä End-Moraine // *Global and Planetary Change*. 31. 2001. P. 387-405.
18. Wohlfarth B., Filimonova L., Bennike O., Björkman L., Brunnberg L., Lavrova N., Demidov I., and Göran P. Late-Glacial and Early Holocene Environmental and Climatic Change at Lake Tambichozero, Southeastern Russian Karelia // *Quaternary Research*. 2002. Vol. 58. P. 261-272.
19. Гурбич В.А., Потахин М.С., Субетто Д.А. Разработка палеогеографической базы данных Paleo-Onego // *Водные ресурсы: изучение и управление*. Т. 1. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2016. С. 185-190.
20. Субетто Д.А., Зобков М.Б., Потахин М.С., Тарасов А.Ю. Палеореконструкции Неожского озера [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=47d76ba2004e463d96eba1d8a1825fe1> (дата обращения 01.03.2017).

REFERENCES

1. Demidov I. N. On a maximum stage in the evolution of periglacial Lake Onega, variations in its water level and glacioisostatic shore uplift of the shore in the Late Glacial Period. *Geol. Min. Resur. Karel.* 2006. Vol. 9. P. 171-182. (in Russ.)
2. *Onezhskoe ozero. Atlas* (Lake Onega. Atlas). N. N. Filatov. Ed. Petrozavodsk: KarNC RAN (Publ.), 2010. 151 p.
3. Poryvkin M. N. Formation of the Vytegra River's terraces and the history of development of Lake Onega. *Tr. Gidrop.* Vol. 3. 1960. P. 221-233. (in Russ.)
4. Biske G. S., Lak G. T., Lukashov A. D., Goryunova N. N., and Ilyin V. A. Structure and history of the Onega Lake depression. *Tr. Inst. Geol. KFA N. SSR*. 1971. 74 p. (in Russ.)
5. Kvasov D. D. The origin of Lake Onega depression, in *Paleolimnologia Onezhskogo ozera* (Paleolimnology of Lake Onega). Leningrad: Nauka (Publ.), 1976. P. 7-40.
6. Saarnisto M., Grönlund T., and Ekman I. Lateglacial of Lake Onega — contribution to the history of the eastern Baltic basin. *Quaternary International*. Vol. 27. 1995. P. 111-120.
7. Demidov I. N. Degradation of the Late Valdai Glaciation in the basin of Lake Onega. *Geol. Min. Resur. Karel.* 2005. Vol. 8. P. 134-142. (in Russ.)
8. Jakobsson M., Björck S., Alm G., Andrén T., Lindeberg G., and Svensson N.-O. Reconstructing the Younger Dryas ice dammed lake in the Baltic Basin: bathymetry, area and volume. *Global and Planetary Change*. 2007. Vol. 57. P. 355-370.
9. Lavrent'ev N. V. and Chepaluga A. L. GIS-technology in reconstruction of the Late Khvalyn basin coastlines (the Pricaspian lowland as an example). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2008. Vol. 3. P. 66-73. (in Russ.)
10. Vassiljev J. and Saarse L. Timing of the Baltic Ice Lake in the eastern Baltic. *Bull. of the Geol. Soc. of Finland*. 2013. Vol. 85. P. 9-18.
11. Habicht H.-L., Rosentau A., Joeleht A., Heinsalu A., Kriiska A., Kohv M., Hang T., and Aunap R. GIS-based multiproxy coastline reconstruction of the eastern Gulf of Riga, Baltic Sea, during the Stone Age. *Bores*. 2017. Vol. 43 (1). P. 83-99.
12. Zobkov M. B., Subetto D. A., Tarasov A. Yu., and Potakhin M. S. GIS-based reconstruction of Lake Onega shoreline during different climatic periods, in *Vodnye resursy: izuchenie i upravlenie* (Water resources: research and management). Petrozavodsk: KarNC RAN (Publ.), 2016. Vol. 1. P. 190-198.
13. Ferranti J. Digital Elevation Data. [Online]. Available: <http://viewfinderpanoramas.org/dem3.html> [Accessed March 1, 2017].
14. Elina G. A., Lukashov A. D., and Yurkovskaya T. K. *Pozdnelednikov'e i golotsen Vostochnoy Fennoskandii* (Late glacial and Holocene of the Eastern Fennoscandia). Petrozavodsk: KarNC RAN (Publ.), 2000. 240 p.
15. Shelekhova T. S., Vasko O. V., and Demidov I. N. Paleoeological conditions for the development of the northwest Prionezhje in the Late Glacial and Holocene. *Geol. Min. Resur. Karel.* 2005. Vol. 8. P. 149-157. (in Russ.)
16. Ekman I. and Iljin V. Deglaciation, the Young Dryas end moraines and their correlation in Russian Karelia and adjacent areas. *Glacial deposits in North-east Europe*. Balkama. Rotterdam, 1995. P. 195-209.
17. Saarnisto M. and Saarinen T. Deglaciation chronology of the Scandinavian Ice Sheet from the lake Onega basin to the Salpausselkä End-Moraine. *Global and Planetary Change*. 31. 2001. P. 387-405.
18. Wohlfarth B., Filimonova L., Bennike O., Björkman L., Brunnberg L., Lavrova N., Demidov I., and Göran P. Late-Glacial and Early Holocene Environmental and Climatic Change at Lake Tambichozero, Southeastern Russian Karelia. *Quaternary Research*. 2002. Vol. 58. P. 261-272.
19. Gurbich V. A., Potakhin M. S., and Subetto D. A. Development of the of the Paleoonega Paleogeographic database, in *Vodnye resursy: izuchenie i upravlenie* (Water resources: research and management). Petrozavodsk: KarNC RAN (Publ.), 2016. Vol. 1. P. 185-190.
20. Subetto D., Zobkov M., Potakhin M., and Tarasov A. *Paleorekonstruktsii Onezhskogo oxera* (Paleoreconstructions of the Lake Onega). [Online]. <http://www.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=47d76ba2004e463d96eba1d8a1825fe1>. [Accessed March 1, 2017].