

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2019.6.006  
УДК 551.89:551.312.48:551.435.3

**Е. М. Бобровникова, М. В. Шитов**

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

## **СВИРСКАЯ ЛАГУННО-БАРОВАЯ СИСТЕМА (ПОЗДНИЙ ГОЛОЦЕН, ЮГО-ВОСТОЧНОЕ ПРИЛАДОЖЬЕ)**

### **Аннотация**

В результате изучения погребенных лагунно-баровых отложений, связанных с позднеголоценовой трансгрессией Ладожского озера, установлено, что скорость подъема уровня воды составляла 2,3–2,9 мм в кал. год, а лагунно-баровая система сформировалась около 6,0 тыс. кал. л. н. и оставалась почти неподвижной до 4,0 тыс. кал. л. н., после чего бар незначительно сместился и был захоронен в лагуне. Формирование / разрушение барьерной системы контролировалось скоростью подъема уровня воды, количеством наносов, соотношением синхронных уровня воды и глубины забаровой лагуны, а также уклонами допозднеголоценового палеорельефа.

### **Ключевые слова:**

*ладожская трансгрессия, палеолимнология, лагунно-баровая система, поздний голоцен, геохронология.*

**E. M. Bobrovnikova, M. V. Sheetov**

Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

## **SVIR LAGOON-BAR SYSTEM (LATE HOLOCENE, SOUTH-EASTERN LADOGA AREA)**

### **Abstract**

A research of the buried lagoon-bar deposits associated with the Late Holocene transgression of Lake Ladoga found that the rate of water level rise was 2,3–2,9 mm per calendar year, and the lagoon-bar system was formed about 6,0 thousand years ago and remained almost immobile up to 4,0 thousand calendar years ago, after which the bar slightly shifted and was buried in the lagoon. The formation / destruction of the barrier system was controlled by the rate of rise of the water level, the amount of sediment, the ratio of the synchronous water level and depth of the back barrier lagoon, as well as the slopes of the Late Holocene paleorelief.

### **Keywords:**

*Ladoga transgression, palaeolimnology, lagoon-bar system, Late Holocene, geochronology.*

### **Введение**

Современный рельеф юго-восточного побережья Ладожского озера — низменная аккумулятивная равнина, на которую насажены серии береговых валов — сформировался в позднем голоцене при трансгрессивно-регрессивном перемещении береговой линии в ходе так называемой ладожской трансгрессии — ключевого палеогидрологического события в послеледниковой истории Ладоги. Эта трансгрессия началась около 5,0 тыс. <sup>14</sup>C-л. н., а 3,1–2,8 тыс. <sup>14</sup>C-л. н. уровень воды достиг максимальной высоты 14–15 м абс. (на 9–10 м выше современного) и снизился до отметок ниже 10 м абс. около 2,0 тыс. <sup>14</sup>C-л. н. (Saarnisto, Grönlund, 1996; Шитов, 2007; Saarnisto, 2012).

Одним из самых впечатляющих свидетельств максимального распространения позднеголоценового ладожского палеобассейна является главный береговой вал/бар высотой до 18 м абс., почти непрерывно прослеживающийся от урочища Калач на правом берегу р. Свирь (рис. 1) более чем на 100 км в северо-западном направлении до г. Салми. С развитием этой крупной аккумулятивной формы около 3,1–2,75 тыс. <sup>14</sup>С-л. н. связано заполнение и отмирание одного из палеорусел р. Свирь с образованием Лахтинского залива (Павловская, Потапович, 2016). Этот феномен был описан Ю. Айлио (Ailio, 1915), а стратотипические разрезы отложений ладожской трансгрессии в урочище Калач — крутом S-образном изгибе русла нижнего течения р. Свирь — были изучены еще К. К. Марковым (Марков и др., 1934).



Рис. 1. Местоположение изученных разрезов:

К — урочище Калач;

Х — урочище Харевщина;

С — урочище Семеновщина

Fig. 1. Location of the studied sections:

K — Kalatch;

X — Harevshina;

S — Semenovshina

К настоящему времени весьма надежно обоснованы возраст максимума трансгрессии и хронология регрессивной фазы (последние 3,1–2,8 тыс. <sup>14</sup>C-лет, см. Saarnisto, Grönlund, 1996; Шитов, 2007; Saarnisto, 2012), а хронология начальной стадии развития трансгрессии, закономерности строения и формирования трансгрессивных секвенций, а также связанных с ними современных и погребенных форм рельефа — береговых валов, баров, кос и лагун — остаются практически не изученными. До сих пор были неизвестны скорость формирования и продвижения этих форм в сторону берега и зависимость интенсивности указанных процессов от синхронного уровня воды. Вместе с тем именно позднеголоценовая динамика развития береговой зоны юго-восточного Приладожья, волновая переработка побережья и образование аккумулятивных береговых форм имели ключевое значение при формировании современных рельефа и ландшафтов района.

### **Материал и методика исследований**

В ходе полевых работ 2018 г. научно-исследовательской практики по четвертичной геологии ИНОЗ СПбГУ на правом берегу р. Свирь, в урочище Калач (рис. 1), в непрерывных расчистках на протяжении 6 км были выявлены и прослежены погребенные (реликтовые) формы рельефа позднеголоценовой береговой зоны — береговые бары и сопряженные с ними лагуны, образующие трансгрессивную последовательность и связанные с развитием крупных аккумулятивных форм в начальный период ладожской трансгрессии.

Трансгрессивный характер этой секвенции доказывается закономерными сочетаниями на различных высотных отметках субаэральных образований (погребенные почвы, торфяники) и бассейновых отложений в различных фациях — эстуарных, лагунных, пляжевых, береговых валов и баров (рис. 2). Эта секвенция образовалась в ходе развития ладожской трансгрессии при продвижении в сторону суши, т. е. вверх по течению, позднеголоценовой береговой зоны с лагунно-баровою системой в условиях сочетания действия волн и сгонно-нагонных явлений на Ладожском озере, а также под влиянием течения р. Свирь. Принципиально важным в изученных разрезах является наличие сохранившихся погребенных почв, автохтонного торфа и гиттий забаровой лагуны. При этом уровень воды очень точно фиксируется кровлей отложений забаровой лагуны, перекрытых базальным горизонтом синхронного бара. Это позволяет реконструировать скорости подъема уровня воды и продвижения барьерной системы в разрезах, расположенных всего в нескольких километрах друг от друга, что обеспечивает условие отсутствия влияния новейших движений на высотные отметки трансгрессивных контактов.

По тонким веточкам из кровли лагунных гиттий, не имеющих признаков размыва, в Лаборатории геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и мирового океана им. В. Кёпшена СПбГУ были получены три радиоуглеродные датировки; еще шесть датировок по погребенным почвам, торфу и древесине из разрезов в урочище Калач и три по эстуарным отложениям выше г. Лодейное Поле, в урочищах Харевщина и Семеновщина (рис. 1), были получены ранее. Путем почти непрерывного прослеживания границ геологических тел в береговых обнажениях урочища Калач был получен сводный разрез отложений ладожской секвенции (рис. 2).

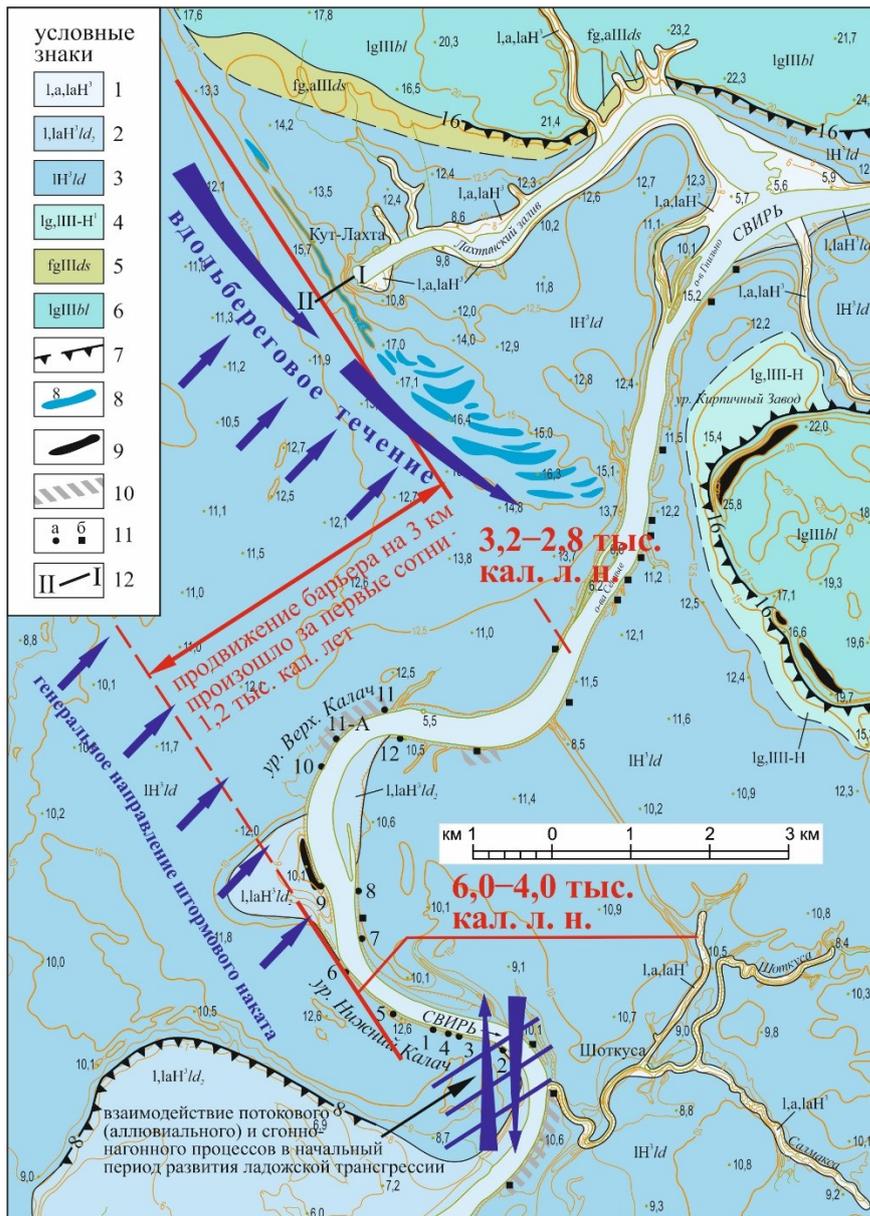


На основе анализа спектрозональных космических снимков с использованием топографических карт масштаба 1:25 000–1:50 000 и заверочными маршрутами была составлена схематическая карта четвертичных отложений нижнего течения р. Свирь в районе урочища Калач (рис. 3). Особенности современного рельефа главного берегового вала в вершине Лахтинского залива были уточнены поперечным нивелирным ходом длиной 600 м. Для расчета скорости подъема уровня воды в начальную стадию ладожской трансгрессии и продвижения древнего берегового бара использовались значения календарного возраста трансгрессивных контактов (рис. 4), полученные на основании калибровочной программы OxCal 4.2 (калибровочная кривая IntCal 13, С. В. Ramsey, <https://c14.arch.ox.ac.uk>).

### Результаты и их обсуждение

Как видно на рис. 2, отложения ладожской секвенции залегают на размытой неровной поверхности позднеледниковых-раннеголоценовых (Ig, III-H<sup>1</sup>) мелко-среднезернистых песков, кровля которых имеет высоту от 5,5–6,0 м абс. (рис. 2, разрезы № 1, 3, 4) до 8,0–8,5 м абс. (разрезы № 11, 11-А), погружаясь иногда ниже уреза воды р. Свирь (разрезы № 5, 6). В кровле этой древней бассейновой пачки на отметках 5,5–6,0 м абс. высоты развиты погребенные почвы, латерально переходящие в маломощные торфяники (разрезы № 1, 3, 4); гипсометрически выше на 8,0–8,5 м абс. распространены относительно мощные торфяники, развитие которых началось еще в раннем и продолжалось на протяжении всего среднего голоцена (рис. 2). Формирование этих субаэральных образований фиксирует продолжительную регрессивную фазу в развитии ладожского палеобассейна. В нижней по течению части урочища Калач (разрезы № 1, 3–6) субаэральные отложения перекрыты (снизу вверх, рис. 2) мелкозернистыми песками с прослоями алевроитов и растительным детритом — эстуарными отложениями. Выше по разрезу эти пески сменяются лагунными гиттиями, которые, как правило, согласно перекрыты линзовидно- и волнистослоистыми среднезернистыми песками базального слоя баровых отложений. На них с резким несогласием залегают грубозернистые косослоистые пески с гравием и галькой, образование которых фиксирует продвижение крупных аккумулятивных форм (рис. 2). Высотные отметки кровли лагунных гиттий возрастают вверх по течению от 6,0–6,5 м абс. (разрезы № 1, 3, 4) до 8,2 м (разрезы № 5, 6). При этом в области распространения погребенных торфяников на высотах 8,0–8,5 м абс. высоты лагунные отложения отсутствуют.

Завершение субаэральной седиментации на отметках около 5,5–6,0 м абс. высоты и начало ладожской трансгрессии в урочище Калач (рис. 2) устанавливаются по радиоуглеродному возрасту кровли погребенной почвы —  $5730 \pm 70$  (горизонт А<sub>0</sub>, ЛУ-5956) и  $5470 \pm 60$  лет (древесина из кровли, ЛУ-6236), а подъем уровня воды выше 6,0 м абс. высоты — по древесине из гиттии с возрастом  $5340 \pm 90$  <sup>14</sup>С-лет (ЛУ-6237). Близкий радиоуглеродный возраст —  $5130 \pm 100$  <sup>14</sup>С-л. н. (ЛУ-6394, древесина) — имеют эстуарные гиттии на высоте около 6,0 м абс. в разрезе Семеновщина выше г. Лодейное Поле (см. рис. 1).



1 - лимний, аллювий, лимно-аллювий позднеголоценовый; 2 - лимний, лимно-аллювий финальной фазы ладожской трансгрессии; 3 - лимний ладожской трансгрессии; 4 - гляциолимний, лимний позднеледниковый - раннеголоценовый; 5 - флювиогляциал (аллювий) древнесви́рский; 6 - гляциолимний Балтийского ледникового озера; 7 - абразионный уступы и отметки их тыловых швов; 8 - береговые валы; 9 - прирусловые валы; 10 - область распространения погребенных ранне- среднеголоценовых торфяников; 11 - опорные разрезы: а - описанные в 2018 г.; б - описанные в 2004 - 2017 г.г.; 12 - линия нивелирования через главный береговой вал ладожской трансгрессии.

Рис. 3. Схематическая карта четвертичных отложений урочища Калач, местоположение опорных разрезов и береговые образования ладожской трансгрессии

Fig. 3. Schematic map of Quaternary sediments of the Kalatch areat, location of the reference sections and coastal formation of the Ladoga transgression

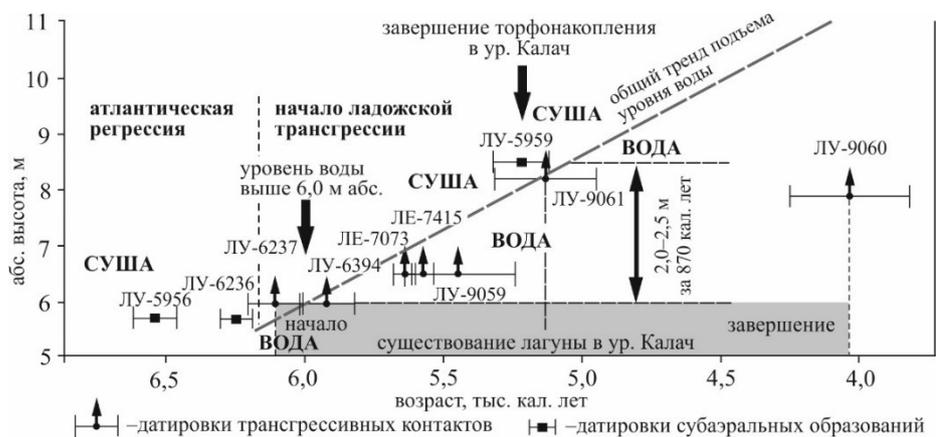


Рис. 4. Подъем уровня воды в начальный период ладожской трансгрессии

Fig. 4. The rise of the water level in the initial period of the Ladoga transgression

Подъем уровня воды выше 6,5 м абс. высоты около 4,8 тыс.  $^{14}\text{C}$ -л. н. надежно фиксируется несколькими датировками:  $4750 \pm 160$  л. н. (урочище Калач, детрит из кровли гиттии, ЛУ-9059),  $4860 \pm 25$  л. н. (урочище Харевщина, древесина из гиттии, ЛЕ-7073) и  $4800 \pm 30$  (урочище Семеновщина, древесина, ЛЕ-7415). Отметку 8,1 м абс. высоты уровень воды превышает  $4480 \pm 140$   $^{14}\text{C}$ -л. н. (ЛУ-9061, урочище Калач, детрит в кровле гиттии); близкий возраст имеет и неглубоко абрадированная кровля погребенного торфа в урочище Калач на высоте 8,5 м абс. —  $4560 \pm 50$   $^{14}\text{C}$ -лет (ЛУ-5959). На высоте около 7,5–8,0 м абс. высоты по детриту из кровли гиттии в урочище Калач получена еще одна весьма молодая датировка —  $3660 \pm 170$   $^{14}\text{C}$ -л. н. (ЛУ-9060), которая близка к возрасту древесины из подошвы базального слоя баровых песков отсюда —  $3330 \pm 50$   $^{14}\text{C}$ -лет (Лу-6234, рис. 2). Это, очевидно, свидетельствует о близком возрасте финальной стадии существования лагуны на месте современного урочища Калач и начала продвижения крупных аккумулятивных форм незадолго до максимума трансгрессии.

Используя значения календарного возраста трансгрессивных контактов, рассчитаем скорость подъема уровня воды в начальную стадию ладожской трансгрессии. Как видно на рис. 4, трансгрессивный контакт на высоте около 6,0 м абс. имеет возраст около 6,0 тыс. кал. л. н., а на высоте 8,1 м абс. — 5,13 тыс. кал. лет. Отсюда следует, что подъем уровня воды в начальную стадию ладожской трансгрессии от 6,0 м абс. высоты на 2,0–2,5 м произошел за 870 календарных лет, что соответствует средней скорости 2,3–2,9 мм в календарный год.

Пока неизвестны какие-либо факты, противоречащие предположению о линейном ходе подъема уровня воды в отсутствие короткопериодических (порядка тысяч лет) изменений скоростей вертикальных движений в районе порога стока из Ладожского озера в период от 6,0 тыс. кал. лет назад до времени максимума трансгрессии около 3,4–2,8 тыс. кал. лет назад. Поэтому экстраполируем полученную скорость подъема уровня воды до времени максимума ладожской трансгрессии и рассмотрим развитие лагунно-баровых системы в урочище Калач на фоне модельных отметок уровня воды с момента ее зарождения до формирования главного берегового вала, выраженного в современном рельефе.

Как видно на рис. 5, зарождение лагунно-баровых системы произошло уже в самом начале ладожской трансгрессии около 6,0 тыс. кал. лет назад при уровне воды несколько выше 6,0 м абс. высоты (рис. 5, стадия **a**). В ходе дальнейшего развития трансгрессии надежно реконструируются стадия **b** (рис. 5) около 5,1 тыс. кал. л. н. при уровне воды выше 8,1 м абс. высоты и стадия **c** около 4 тыс. кал. л. н. при уровне воды около 11 м абс. высоты, когда лагуна в урочище Калач прекращает свое существование. Таким образом, оказывается, что на протяжении не менее 2,0 тыс. кал. лет и подъеме уровня воды не менее чем на 5 м происходило только накопление материала в предфронтальной зоне и увеличение размеров берегового бара, а сама аккумулятивная форма оставалась почти неподвижной.

Этот вывод подтверждается и геологическими данными: стационарное положение бара фиксируется по песчаным толщам с мощными однонаправленными косыми сериями, а его смещение — по новому стационарному положению на некотором расстоянии от начального положения. В нижней по течению р. Свирь части урочища Калач такие серии наблюдаются, а выше, вплоть до главного берегового вала, выраженного в современном рельефе в 3 км к северо-востоку, отсутствуют какие-либо геологические тела, отражающие рост барьера или его движение (рис. 2, 3).

Главный береговой вал ладожской трансгрессии, перекрывший палеоруло Свири с образованием Лахтинского залива (рис. 3, стадия **d** на рис. 5) имеет, судя по нивелировкам авторов, основание и максимальную высоту гребня, равные соответственно 13,7–14,2 и 17,4 м абс. Эти высоты ниже, чем приведенные Ю. Айлио (1915) – соответственно 16,9 и 20,3 м, так как он, неверно, определил отметку уреза воды Лахтинского залива 7,13 м вместо 5,5 м абс. Высоты около 14 м абс. высоты согласуются с известными оценками максимального подъема уровня воды при ладожской трансгрессии (Шитов, 2007) и полностью соответствуют расчетным значениям высоты уровня воды в максимум трансгрессии около 3,4–2,8 тыс. кал. лет назад (рис. 5). Отсюда, учитывая некоторую погрешность в определении возраста максимума, следует, что с момента завершения существования лагуны в урочище Калач около 4,0 тыс. кал. лет назад до формирования главного берегового вала прошло не более 1200 календарных лет. В действительности, это произошло быстрее и, возможно, заняло всего первые сотни лет — если в качестве хронологических рамок принять нижнюю возрастную границу максимума в 3,4 тыс. кал. л. н. и возраст базального слоя баровых песков в урочище Калач, равный 3,56 тыс. кал. л. При этом оказывается, что именно последние 3 м подъема уровня воды (рис. 5) оказались решающими для завершения лагунной седиментации в урочище Калач и быстрого формирования главного берегового вала максимума ладожской трансгрессии в 3 км к северо-востоку (рис. 3).

Очевидно, что процесс формирования главного берегового вала происходил в сложных литодинамических условиях: перемещение осадочного материала происходило как за счет генерального направления штормового наката, так и за счет аллювиального (потокового) процесса при определяющей роли масштабного вдольберегового течения, о котором свидетельствует морфология главного вала — он является, по сути, косой (рис. 3). Тем не менее это не объясняет 2-тысячелетнюю неподвижность лагунно-баровых системы в урочище Калач и ее быстрое исчезновение при повышении уровня воды всего на 3 м без каких-либо следов продвижения в сторону древнего побережья.



Динамика древней береговой зоны в районе современного урочища Калач была очень тесно связана с развитием лагунно-барово́й системы, причем формирование / разрушение барьерной системы контролировалось сложным сочетанием ряда факторов: скоростью подъема уровня воды, количеством наносов, соотношением синхронного уровня воды и глубины забаровой лагуны, т. е. скоростью лагунной седиментации, а также уклонами палеорельефа в основании трансгрессивной секвенции. Наглядные особенности строения Свирской лагунно-барово́й системы и широкие возможности для разработки высокоточной хронологии ее развития позволяют использовать эту систему как модельную для реконструкции закономерностей формирования трансгрессивных секвенций и связанных с ними форм рельефа.

*Полевые работы были проведены в ходе научно-исследовательской практики по четвертичной геологии ИНОЗ СПбГУ на УНБ «Свирская».*

## Литература

*Бадюкова Е. Н., Каплин П. А.* Береговые бары // Геоморфология. 1999. № 3. С. 3–13.

*Марков К. К., Порецкий В. В., Шляпина Е. В.* О колебаниях уровней Ладожского и Онежского озер в послеледниковое время // Труды Комиссии по изучению четвертичного периода. 1934. Т. IV (1). С. 71–129.

*Павловская Е. А., Потапович А. А.* Поздне- и послеледниковая история реки Свирь: отражение в георадарных образах // Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северо-Запада России: мат-лы XXVII Молод. науч. школы-конф., посвящён. памяти члена-корреспондента АН СССР К. О. Кратца и академика РАН Ф. П. Митрофанова (Апатиты. 3–7 октября 2016 г.). Апатиты, 2016. С. 190–194.

*Шитов М. В.* Голоценовые трансгрессии Ладожского озера: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. СПб., 2007. 16 с.

*Ailio J.* Die geographische Entwicklung des Ladogasees in postglazialer Zeit und ihre Beziehung zur steinzeitlichen Besiedelung // Bulletin de la commission géologique de Finlande. 1915. No. 45. Helsingfors, 159 p.

*Saarnisto M.* Late Holocene land uplift / neotectonics on the island of Valamo (Valaam), Lake Ladoga, NW Russia // Quaternary International. 2012. Vol. 260. P. 143–152.

*Saarnisto M.* The late Weichselian and Flandrian History of the Saimaa Lake Complex // Societas Scientiarum Fennica. Commentationes Physico-Mathematicae. 1970. Vol. 37. P. 7–107.

*Saarnisto M., Grönlund T.* Shoreline displacement of Lake Ladoga — new data from Kilpolansaari // Hydrobiologia. 1996. Vol. 322. P. 205–215.

## Сведения об авторах

**Бобровникова Елизавета Михайловна**

студентка, СПбГУ, lzbbvknkv@gmail.com

**Шитов Михаил Вячеславович**

кандидат геолого-минералогических наук, доцент, СПбГУ, envigeo@yandex.ru

**Bobrovnikova Elizaveta Mikhailovna**

Student, Saint Petersburg State University, lzbbvknkv@gmail.com

**Sheetov Michael Vyacheslavovitch**

PhD (Geology & Mineralogy), Associate Professor, Saint Petersburg State University, envigeo@yandex.ru