

ЭВОЛЮЦИЯ ГИДРОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

THE EVOLUTION OF THE EARTH'S HYDROSPHERE

УДК 556

ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ РЕК ЮЖНОГО ПРИИЛЬМЕНЬЯ В ГОЛОЦЕНЕ **HISTORY OF FORMATION OF THE RIVERS OF SOUTH PRILIMENIUM IN HOLOTSSEN**

А.Ю. Виноградов^{1,2}, В.А. Обязов¹,
М.М. Кадацкая^{1,2}

Alexey Yu. Vinogradov^{1,2}, Victor A. Obyazov¹,
Mariya M. Kadatskaya^{1,2}

¹ООО НПО «Гидротехпроект», г. Валдай,
Россия, ²Санкт-Петербургский государ-
ственный лесотехнический университет,
г. Санкт-Петербург, Россия

¹Scientific and Industrial Research Associa-
tion Hidrotehproekt, Valday, Russia
²Saint Petersburg State Forest Technical Uni-
versity, St. Petersburg, Russia

gd@npogtp.ru

gd@npogtp.ru

Аннотация. Речное русло в процессе своей эволюции подвержено деформациям, проявляющимся в виде размыва русла и поймы, переноса и аккумуляции наносов. Знание истории развития речных русел в условиях, характерных для данной территории, позволяет дать оценку их эволюции в будущем. Целью исследования являлось выявление особенностей формирования и эволюции гидрографической сети Южного Приильменья в голоцене. Эти особенности преимущественно связаны с последним Валдайским оледенением. Во-первых, реки возникли только после отступления ледника и имеют возраст примерно от 11 до 14 тыс. лет назад. Во-вторых, их развитие

Abstract. The riverbed in the course of its evolution is subject to deformations, manifested in the form of erosion of the channel and floodplain, sediment transport and accumulation. Knowledge of the history of the development of river channels in the conditions characteristic of a given territory allows us to assess their future evolution. The aim of the study was to identify the features of the formation and evolution of the hydrographic network of Southern Priilmenye in the Holocene. These features are mainly associated with the last Valdai glaciation. Firstly, rivers arose only after the retreat of the glacier and are about 11 to 14 thousand years old. Secondly, their development was controlled by a changing erosion

контролировалось меняющимся базисом эрозии, зависящим от уровня приледникового озера, сформировавшегося на южной периферии ледника при его отступлении. В третьих, эволюция водотоков происходила в условиях компенсационного деформационного поднятия территории.

В результате на территории Южного Приильменя сформировались реки, в начальной стадии своего развития свободно меандрирующие по широкой и почти плоской равнине, сложенной флювиогляциальными отложениями. Затем, по мере понижения базиса эрозии, происходило врезание русел в водоупорные ледниковые отложения Валдайского горизонта. В последнее тысячелетие вертикальный размыв резко усилился, что связано с преодолением труднорастворимых флювиогляциальных четвертичных суглинистых пород и непосредственным воздействием потока на нижележащие девонские отложения, и в настоящее время по нашей оценке достигает 1-3 см в год. По мере врезания русел рек плановые деформации существенно замедлились. Руслу развиваются, хотя и не полной мере, по типу вынужденного меандрирования.

Ключевые слова: эволюция гидрографической сети; базис эрозии; русловой процесс; озеро Ильмень; Осташковское оледенение

basis, depending on the level of the subglacial lake, which formed on the southern periphery of the glacier during its retreat. Thirdly, the evolution of watercourses occurred in conditions of compensatory deformational elevation of the territory.

As a result, rivers formed on the territory of Southern Priilmen'e, in the initial stage of their development, meandering freely along a wide and almost flat plain composed of fluvio-glacial deposits. Then, as the erosion basis decreased, the channels incised into the water-resistant glacial deposits of the Valdai horizon. In the last millennium, vertical erosion sharply increased, which is associated with overcoming difficult to wash out fluvio-glacial Quaternary loamy rocks and the direct impact of the flow on the underlying Devonian sediments, and at present, according to our estimates, it reaches 1-3 cm per year. As the riverbeds cut in, the planned deformations slowed significantly. The channels develop, although not to the full extent, by the type of forced meandering.

Keywords: hydrographic network evolution; erosion basis; channel process; lake Ilmen; Ostashkovsky glaciation

Введение

Речное русло в процессе своей эволюции подвержено деформациям, проявляющимся в виде размыва русла и поймы, переноса и аккумуляции наносов. Интенсивность процесса деформации определяется размывающей и транспортирующей способностью потока и постоянством общего базиса эрозии. Поток, протекающий в русле, вызывает общие для всей реки односторонние деформации, выражающиеся в снижении продольного профиля к отметке базиса эрозии.

История рек и озер Приильменской низменности неразрывно связана с историей самой низменности. Поскольку исследуемая территория подвергалась покровному оледенению, сыгравшему решающую роль в формировании и эволюции гидрографической сети в послеледниковый период, исследованию которой и посвящена данная работа.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- оценка по литературным данным изменения уровня океана и высотных отметок территории Северной Европы в голоцене;
- расчет величины деформационной просадки грунтов под воздействием ледниковых масс и последующего компенсационного поднятия после снятия нагрузки;
- оценка изменений уровня Ладожского озера, отметок водоразделов, замыкавших сток из оз. Ильмень, и Волховских порогов, как базиса эрозии рек Приильменя, во время и после деградации Осташковского оледенения;
- характеристика эволюции рек Южного Приильменя.

Объект исследования

Реки Южного Приильменя начинаются в верховом болотном массиве Красный Мох – Полисто-Ловатская болотная система с абсолютными отметками 90-100 м. Это малые реки Псижа, Перехода, Снежа, Холынья, Порусья, Полисть, Редья, Шелонь. Исключение составляют р. Пола (с отм. истока 260 м) и р. Ловать (исток – оз. Ловатец с отм. 175 м), которые берут начало южнее в пределах Валдайской возвышенности и пересекают Ильменскую низменность с юга на север (рисунок 1).

Ильменская котловина представляют собой аккумулятивную озерно-ледниковую равнину Валдайского горизонта позднеледниковых слоев озерных и озерно-ледниковых отложений [Геология СССР, 1971]. Заложение современной речной сети произошло в

невелика, все долины направлены по уклону на северо-восток и конфигурация русел рек имеет параллельный тип [Динамическая геоморфология, 1992].

Исследуемая территория подвергалась нескольким оледенениям, последним из которых было Валдайское. Оно состояло из ранневалдайского или Тверского (70-55 тыс. лет назад) и поздневалдайского или Осташковского (24-10 тыс. лет назад) оледенений [Геология СССР, 1971]. Максимальное распространение льда Осташковского оледенения имело место от 17 тыс. [Геология СССР, 1971] до 20 тыс. лет назад [Rinterknecht et al., 2018]. После этого началось таяние ледника, которое в Европе закончилось 8 тыс. лет назад, а 5 тыс. лет назад прекратилось окончательно и в Америке [Геология СССР, 1971].

Современные реки Южного Приильменья, формирование которых стало возможным только после освобождения территории от покровного оледенения, возникли с геологической точки зрения совсем недавно – около 15 тыс. лет назад [Hughes et al., 2016; Gorlach, Hang, Kalm, 2017; Rinterknecht et al., 2018].

Результаты исследования

Уровень океана в период Осташковского оледенения, был ниже современного на 100 м [Чистяков, Макарова, Макаров, 2000], а после начала таяния покровных ледников повышался со скоростью 9 м за 1 тыс. лет и стабилизировался на современных отметках около 5 тыс. лет назад [Мернер, 1986а; Мернер, 1986б]. В это же время, по данным [Шельфы Евразии..., 1991; Кузнецов, 1992], амплитуда понижения и последующего подъема уровня Мирового океана в рассматриваемый период превысила 200 м. В. Рамзай оценивает минимальную отметку уровня океана во время максимума Осташковского оледенения в 183 м [Ramsay, 1931]. В любом случае, по мнению всех исследователей, уровень Мирового океана последние тысячелетия относительно стабилен. Эвстатическое повышение уровня Мирового океана последние 5-7 тыс. лет составляют 0,8 мм/год [Никонов, Энман, Флейфель, 2008] или около 5 м за указанный период. В предположении, что поднятие уровня Мирового океана проходило по функциональной зависимости, представленной нами на рисунке 2, и сроки полной деградации ледникового покрова укладываются в 11 тыс. лет (с 17 по 6 тыс. лет назад) [Stokes, 2017], проведем качественную реконструкцию повышения уровня мирового океана.

Фенноскандия в течение всего поздне- и послеледникового времени непрерывно испытывала эндогенное поднятие [Никонов, 1977]. Высота поднятия за последние 5-7 тыс. лет оценивается на севере Ладоги в 20 м, на юге – в 2-4 м. Территория Приильменской низменности за этот период, согласно А.А. Никонову [Никонов, Энман, Флейфель, 2008],

поднятием не затронута. Кроме того, на тех частях территории, которые имеют мощный слой осадочных супесчаных, суглинистых и глинистых отложений и подвергались ледниковой нагрузке, после таяния ледника происходило компенсационное деформационное поднятие.

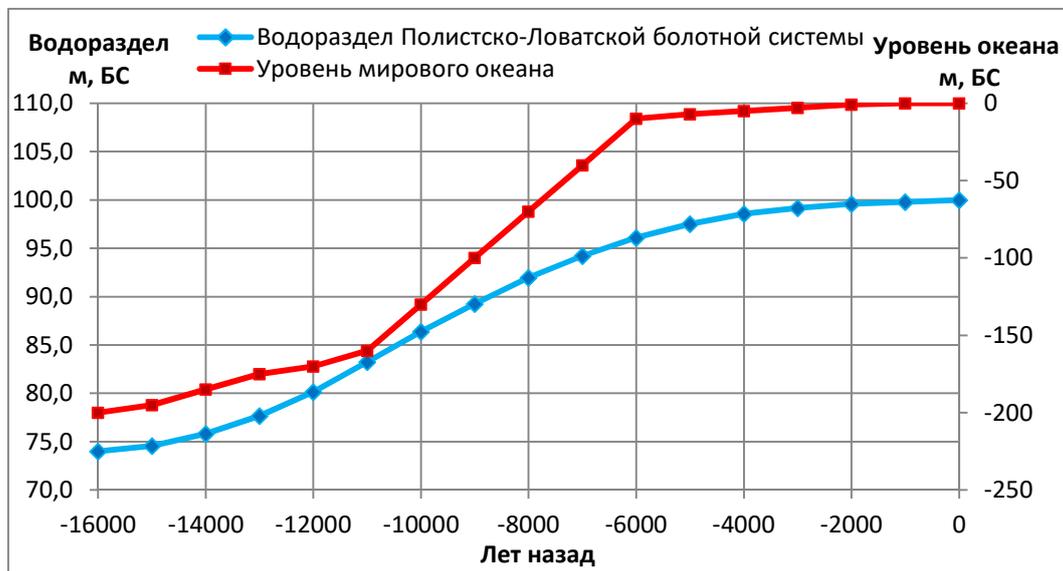


Рисунок 2. Изменение уровня мирового океана и абсолютных отметок водораздела Полистско-Ловатской болотной системы

Figure 2. Changes in sea level and absolute elevations of the watershed of the Polisto-Lovatskaya bog system

Следовательно, для всей части южного Приильменья необходимо ввести высотную поправку на поднятие, произошедшее после Осташковского оледенения. Побережье нынешнего Ладожского озера по данным А.А. Никонова [Никонов, Энман, Флейфель, 2008] претерпело изостатическое поднятие на севере до 120 м, на юге – до 45 м. Озеро Ильмень находится в области, которая не подвергалась изостатическому поднятию [Квасов, 1975]. В других источниках [Чистяков, Макарова, Макаров, 2000], величина поднятия современной чаши Ильменя не превысила 10-15 м, а нулевая изолиния прошла несколько южнее города Старая Русса.

Исходя из геологической карты четвертичных отложений Ленинградской, Псковской и Новгородской областей [Геология СССР, 1971], граница Осташковского оледенения проходила южнее линии Бежаницы – Холм – Валдай, следовательно, вся территория Приильменской низменности испытывала воздействие ледниковых масс. По данным [Гроссвальд, 2009], основанным на реконструкции Т. Хьюза, толщина слоя льда на линии Шимск – Старая Русса составляла 1300 м, а в районе истоков рассматриваемых рек – не менее

1000 м. При таких условиях, среднее давление на квадратный метр территории составляет около 1000 тонн, следовательно, высотная стабильность территории маловероятна. На основании учета общего градиента изостатического поднятия [Субетто, 2007], можно предположить, что подъем приводораздельных болотных массивов по линии Дедовичи – Поддорье – Демянск составил 10-15 м, при этом южная часть озера Ильмень по линии Шимск – Старая Русса поднялась не менее, чем на 25-30 м.

Проведем прикидочный расчет величины деформационной просадки при максимальном распространении ледникового покрова (~20 тыс. лет назад). Осадка толщи грунта рассчитывается по [Цытович, 1983]:

$$S = \frac{hm_0 p}{1 + e_0} \quad (1)$$

где h – слой девонских и четвертичных доледниковых отложений, м;

p – удельная ледниковая нагрузка (кг/м²);

e_0 – начальный коэффициент пористости, принят равным 0,22 (б/р)¹;

m_0 – коэффициент сжимаемости слоя осадочных пород, подстилающего ледник:

$$m_0 = \beta \frac{1 + e_0}{E_{од.}} \quad (2)$$

где $E_{од.}$ – модуль общей деформации, принят равным 750000 (кгс/м²)²;

β – величина, зависящая от коэффициента поперечной деформации (бокового расширения):

$$\beta = 1 - \frac{2\mu_0^2}{1 - \mu_0} \quad (3)$$

где μ_0 – коэффициент поперечной деформации (бокового расширения), принят равным 0,35³.

¹ Справочное пособие для обработки материалов инженерно-геологических изысканий. – М., ДАРВОДГЕО, 2005

² Там же

³ Там же

Слой осадочных пород условно принимаем как однородный, суглинки. В расчетах пренебрегаем:

- собственным весом грунта;
- осадками и хрупким разрушением кристаллических пород;
- влажностью грунтов;
- мерзлыми свойствами грунтов.

Сжатие происходит в первую очередь за счет уменьшения пористости толщи подстилающих ледник грунтов. Расчет изменения коэффициента пористости проводится по следующей зависимости:

$$e_1 = e_0 - (1 + e_0) \frac{S_i}{h} \quad (4)$$

Результаты расчета сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Расчет просадок грунта при максимальном воздействии ледника.

Table 1. Calculation of subsidence of soil at the maximum impact of the glacier.

| Параметры | верховье Полю | оз. Лова- тец | водораз- дел | оз. Иль- мень | пос. Гру- зино | южный берег Ла- дожского озера |
|--------------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|-------------------|-----------------------------------|
| Н _{льда} , м | 900 | 900 | 1000 | 1300 | 1600 | 1600 |
| ρ, кг/м ² | 855000 | 855000 | 950000 | 1235000 | 1520000 | 1520000 |
| h, м | 800 | 700 | 520 | 320 | 250 | 80 |
| E, кгс/м ² | 3071385 | 3071385 | 3071385 | 3071385 | 3071385 | 3071385 |
| S, м | 56,8 | 49,7 | 41,0 | 32,8 | 31,6 | 12,6 |
| e ₁ | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,14 | 0,12 | 0,12 |

При снятии нагрузки, за счет упругой деформации происходит компенсационное поднятие. Модуль упругой деформации E_{упр.д.} ветви разгрузки [Барац, 2008] (оценочно) согласно⁴ E_{упр.д.}=5 E_{од.} [Виноградов, Обязов, 2018].

Далее, предположим, что таяние ледника проходило по квазилинейному закону. Тогда уменьшение мощности ледника составляло, в среднем, 250 м/1000 лет.

⁴ Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений. СП 50-101-2004. М.: ФГУП ЦПП, 2005. 130 с.

Предельное компенсационное деформационное поднятие рассчитано по формуле [Цытович, 1983]:

$$S_n = \frac{hm_1 p}{1 + e_1} \quad (5)$$

где p – снятая удельная нагрузка при таянии ледника, (кг/м²);
 e_1 – усредненный коэффициент пористости сжатого слоя за расчетный период.

Величина поднятия за период t , определялась согласно [Цытович, 1983]:

$$S_t = 2h \frac{m_1 p}{1 + e_1} \left(1 - \frac{8}{\pi^2} \left(e^{-N} + \frac{1}{9} e^{-9N} \right) \right) \quad (6)$$

$$N = \frac{\pi^2 c_{vn} t}{4h^2} \quad (7)$$

$$c_{vn} = \frac{k(1 + e_1)}{m_1 \rho} \quad (8)$$

где m_1 – коэффициент набухания сжатого слоя, отнесенный к ветви разгрузки компрессионной кривой;

k – коэффициент фильтрации, отнесенный к ветви разгрузки компрессионной кривой.

Полученные результаты скорости компенсационного деформационного поднятия (таблица 2) корректировались со значением предельного поднятия S_n и общим видом теоретической кривой поднятия (рисунок 2). Эта кривая должна иметь начальную часть с небольшим градиентом (в условиях неполной разгрузки), центральную – с максимальным и конечную, также с минимальным, со значениями, асимптотически приближающимися к условно максимальному значению упругого поднятия.

На основании приведенных грубых оценочных расчетов попробуем провести реконструкцию уровней озер и уклонов основных рек линии Ловать – Ильмень – Волхов – Ладожское озеро.

Таблица 2. Отметки условных урезов воды, приведенные к БС.**Table 2.** Conventional water level marks given to the Baltic System.

| лет назад | верховья Полы | оз. Ло- ватаец | оз. Рдейское и другие | оз. Иль- мень | р. Волхов, п. Грузино | юж. берег Ла- дожского озера |
|----------------|------------------|-------------------|--------------------------|------------------|--------------------------|---------------------------------|
| 16000 | 249,7 | 166 | 92,6 | 12,3 | 12,5 | 2,9 |
| 15000 | 250,2 | 166,4 | 92,9 | 12,4 | 12,6 | 3,0 |
| 14000 | 251,0 | 166,9 | 93,2 | 12,5 | 12,6 | 3,0 |
| 13000 | 251,8 | 167,4 | 93,6 | 12,7 | 12,7 | 3,0 |
| 12000 | 252,6 | 168,1 | 94,1 | 13,0 | 12,9 | 3,1 |
| 11000 | 253,4 | 168,8 | 94,6 | 13,4 | 13,3 | 3,2 |
| 10000 | 254,3 | 169,5 | 95,2 | 13,9 | 13,6 | 3,4 |
| 9000 | 255,1 | 170,3 | 95,9 | 14,4 | 14,1 | 3,6 |
| 8000 | 256,0 | 171,1 | 96,5 | 14,9 | 14,6 | 3,7 |
| 7000 | 256,8 | 171,9 | 97,1 | 15,5 | 15,1 | 3,9 |
| 6000 | 257,5 | 172,6 | 97,8 | 16,0 | 15,5 | 4,1 |
| 5000 | 258,2 | 173,3 | 98,3 | 16,5 | 16,0 | 4,3 |
| 4000 | 258,8 | 173,9 | 98,9 | 17,0 | 16,4 | 4,5 |
| 3000 | 259,3 | 174,3 | 99,3 | 17,4 | 16,8 | 4,6 |
| 2000 | 259,6 | 174,6 | 99,7 | 17,7 | 17,1 | 4,8 |
| 1000 | 259,8 | 174,8 | 99,9 | 17,9 | 17,3 | 5,0 |
| 0 | 260 | 175 | 100 | 18 | 17,4 | 5,0 |
| ампли- туда | 10,3 | 9 | 7,4 | 5,7 | 4,9 | 2,1 |

Вертикальные движения земной коры рассматриваемой территории являются тектоническими и гляциоизостатическими [Никонов, 1977]. На основании высокоточных измерений вертикальных движений земной коры А.А. Никонов приводит карту современных движений [Никонов, 1977], анализируя которую можно сделать вывод, что в настоящее время территория Южного Приильмения, долина р. Волхов и прилегающая к ней южная часть Ладоги находится в зоне слабых и умеренных опусканий, причем скорость таковых составляет 0-2 мм/год. По данным [Марков, 1933], Южная Швеция, Дания в районе проливов опустились на 40-60 метров за последние 8000 лет, что составило 5-7 мм/год. При этом [Шитов, 2007]

считает, что общее опускание (эндогенное) южного берега Ладоги за последние 10 тыс. лет составило 11 м.

Мощность слоя осадочных пород уже на южном побережье Ладожского озера не превышает 80 м, а на северном имеют место многочисленные выходы кристаллических пород – гранитов и гнейсов. Кристаллические породы дорифейского (архей, протерозой) возраста, выходящие на дневную поверхность на севере Карельского перешейка, представляют собой небольшую часть крупной региональной структуры (Восточно- Финляндская синклиновая зона), на юге уходящей под акваторию Ладожского озера и на северо-западе на территорию Финляндии. Упругого сжатия гранитов и гнейсов вследствие воздействия массы ледника быть не может, следовательно, все движения этой части суши (Фенноскандии) мы считаем эндогенными, в том числе произошедшими вследствие подвижек, которые были инициированы разгрузкой земной коры после таяния ледника [Subetto et al., 2018] и не связанными с упругими поднятиями в результате разгрузки от ледникового покрова. Данная точка зрения впервые высказана в [Николаев, 1967]. Наша реконструкция основана также на этом предположении.

Скорость поднятия Фенноскандии по геолого-геоморфологическим данным [Никонов, 1977] 10 тыс. лет назад достигала 4 см/год, плавно понижаясь до 10 мм/год 8 тыс. лет назад и в последние тысячелетия не превышала 3-5 мм/год. Таким образом, максимальное сводовое поднятие с центром в районе Ботнического залива за последние 7 тыс. лет не превысило 100 м, величина поднятия на юге Ладожского озера составила всего 0-3 м за этот же период [Никонов, 1977] (согласно нашей реконструкции – максимум компенсационного деформационного поднятия в этом месте – 2 м). В то же время, последние 3000 лет южный берег Ладоги опускается в 1-2 мм/год [Никонов, 1977], то есть за этот период опустился на 4-5 м. Предполагая, что скорость компенсационного поднятия осталась на прежнем уровне, попытаемся учесть предлагаемую в [Никонов, 1977] поправку (таблица 3). Однако, будем иметь в виду, что если вне зависимости от появления и схода ледника южный берег Ладоги опускался с одинаковой скоростью весь голоцен, то отметка на момент начала таяния ледника могла быть еще выше (около 14,0 м БС).

Как известно [Ramsay, 1931; Марков, 1933; Квасов, 1975; Субетто, 2007; Никонов, Энман, Флейфель, 2008], реконструкции послеледникового изостатического поднятия Ладожского озера – базиса эрозии Ильменской речной системы – проводилась неоднократно. Эти реконструкции основаны на анализе высотного положения исторических береговых линий, выраженных как в абразиях, террасах и береговых валах, так и в донных отложениях

береговых озер и торфяных отложениях болот. Сравнительные значения фиксированной условной точки современной отметки уреза воды приведены в таблице 3. В таблице 4 приводятся различные реконструкции отметок Ладожского озера.

Таблица 3. Изменения отметок значения современного уреза южного берега Ладожского озера по различным реконструкциям

Table 3. Changes in the elevation values of the modern shoreline of the southern shore of Lake Ladoga for various reconstructions

| лет назад | уровень моря, м БС | Согласно [Никонов, Энман, Флейфель, 2008] | наша | наша, с учетом опускания |
|--------------|-----------------------|--|------|-----------------------------|
| 16000 | -200 | -33,5 | 2,9 | 14,1 |
| 15000 | -195 | -30 | 3,0 | 13,5 |
| 14000 | -185 | -26,5 | 3,0 | 12,8 |
| 13000 | -175 | -23 | 3,0 | 12,1 |
| 12000 | -170 | -19,5 | 3,1 | 11,6 |
| 11000 | -160 | -16 | 3,2 | 10,9 |
| 10000 | -130 | -12,5 | 3,4 | 10,4 |
| 9000 | -100 | -9 | 3,6 | 9,9 |
| 8000 | -70 | -5,5 | 3,7 | 9,3 |
| 7000 | -40 | -2 | 3,9 | 8,8 |
| 6000 | -10 | 1,5 | 4,1 | 8,3 |
| 5000 | -7 | 5 | 4,3 | 7,8 |
| 4000 | -5 | 8,5 | 4,5 | 7,3 |
| 3000 | -3 | 12 | 4,6 | 6,7 |
| 2000 | -1 | 10 | 4,8 | 6,2 |
| 1000 | 0 | 8 | 5,0 | 5,7 |
| 0 | 0 | 5 | 5,0 | 5,0 |

Таблица 4. Отметки уровня Ладожского озера по различным реконструкциям**Table 4.** Levels of Lake Ladoga for various reconstructions

| лет назад | Согласно [Субетто, 2007] | Согласно [Амантов и др., 2016] | Согласно [Шитов, 2007] | Согласно [Марков, 1933] | на основе [Марков, 1933; Субетто, 2007; Амантов и др., 2016], с учетом опускания |
|--------------|--------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|---|
| 12000 | 95-75 | 22 | | 38-23 | 60 |
| 11000 | 45 | 10 | 13 | 32 | 40 |
| 10000 | 20 | 15 | | -3 | 13,5 |
| 9000 | 23 | 0 | | 2,0 | 5 |
| 8000 | 17 | 15 | 9,5 | 5 | 11 |
| 7000 | 17 | 13 | 8 | -1 | 11 |
| 6000 | 17 | 8 | 8 | 5 | 6 |
| 5000 | 20 | 7 | 7 | 7 | 4,5 |
| 4000 | 19 | 7 | 14,5 | 2 | 5 |
| 3000 | 19 | 20 | 16 | 14 | 11 |
| 2000 | 7 | 14 | 11 | 6 | 10 |
| 1000 | 6 | 6 | 8 | 5,5 | 7 |
| 0 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |

Одну из первых попыток сделать расчет величины гляциоизостатического поднятия береговой линии сделал К.К. Марков еще в [Марков, 1933]. Он предложил производить расчет поднятия h через разность величин изостатического поднятия e и эвстатического (поднятия уровня моря) – d : $h = e - d$. Если h за период — величина положительная, то есть $e > d$, земная кора поднялась — водный бассейн регрессирует. Подобный расчет логичен при анализе динамики береговых линий водоемов, непосредственно связанных с морем, но в случае оценки изменений уровня озер, удаленных от общего базиса эрозии, данное построение не работает. Судите сами: при отступлении ледника за пределы нынешнего расположения Ладожского озера, уровень Мирового океана был намного ниже современного. Предположим, компенсационное поднятие береговой линии оз. Ильмень за 1000 лет составило 3 метра, а уровень моря за счет таяния ледников подрос на 30 метров, тогда получается, что береговая линия $h = 3 - 30$ опустилась на 27 метров – регрессия озера? Относительно принятого нуля

БС, будет иметь место, как подъем отметки береговой линии, так и уровня моря. Но для самого озера ситуация никак не поменяется – ведь вместе с берегом поднимется и дно.

Задача всеобъемлющего анализа реконструкции уровенного режима Ладожского озера перед нами не стояла, тем не менее, мы старались учесть большинство возможных исследований по этому поводу [Марков, 1933; Квасов, 1975; Никонов, 1977; Субетто, 2007; Барац, 2008; Елфимов, 2008; Никонов, Энман, Флейфель, 2008]. Например, в качестве верхнего ограничения уровня воды мы используем отметки залегания торфяников возрастом от 9550 лет назад до 3400 лет назад на высотах примерно от 7 до 8,5 м БС вдоль существующей долины р. Нева. Уровень воды в р. Неве и Ладожском озере не мог быть выше высоты одновозрастных торфяников. Поскольку сами торфяники поменяли свою отметку как минимум на 5 м за этот период, то и уровень воды в Ладоге мог подниматься до 10-11 м.

Данные различных реконструкций исторических изменений уровня оз. Ильмень представлены в таблице 5. В 6 столбце – данные по изменениям в отметках Ладожского порога р. Волхов с учетом эндогенной просадки и абразионного размыва [Шуйский, Симеонова, 1976]. Они приведены к местоположению современного уреза пересчетом через условную отметку дна с учетом текущего заиления чаши озера. На представленных в [Васильева и др., 2012] рисунках, отметки уровня озера приняты равными 28,0 м БС на основании того, что Славенский и Юрьевский холмы г. Новгорода, имеющие отметки соответственно 27,5 и 28,1 м БС, 4-4,5 тыс. лет назад были затоплены. С учетом того, что абсолютные отметки холмов в то время были на 3,5 м ниже, максимальный уровень, скорее всего, не превышал отметок 20-24 м.

Оз. Ильмень имеет сток через р. Волхов в Ладожское озеро. При уровнях Ладожского озера меньших, чем 12,0 м, подпорных явлений на сток из оз. Ильмень быть не могло. Ладожские пороги, расположенные в 35 км от устья р. Волхов, за последние тысячелетия опускались со скоростью не меньшей, чем побережье [Никонов, 1977], то есть гребень порога с учетом размыва опустился не менее чем на 25 м. Поскольку сами пороги сложены кристаллическими породами, то компенсационное деформационное поднятие этого участка ничтожно, следовательно, отметка порогов 10-12 тыс. лет назад составляла около 37 м БС.

Большинство исследователей склоняется к варианту, что сток из оз. Ильмень проходил через р. Шелонь и далее по линии рек Уза, Петенка, Черёха, Великая, Нарва, Балтийское море [Васильева и др., 2012; Goflach, Hang, Kalm, 2017]. Отметка водораздела на сегодняшний день 53,0 м. На геологических картах четвертичных отложений по рассматриваемой линии прослеживаются как ложбины стока ледниковых вод, так и

выраженные в современном рельефе древние долины. Отложения представлены озерно-ледниковыми и озерно-аллювиальными песчаными отложениями мощностью до 6 м.

Таблица 5. Изменения отметок озера Ильмень по различным реконструкциям

Table 5. Changes in elevations of Lake Ilmen for various reconstructions

| лет назад | Отметки уровня по [Ва- сильева и др., 2012] | Отметки дна озера, приве- денные к БС | Отметки уреза по [Васильева и др., 2012], приведен- ные к БС | Отметки уреза, м БС, наша интер- претация | Отметки Ла- дожского порога, м БС |
|--------------|--|---|---|--|--|
| 13000 | 110 | -23 | 110,6 | 85 | затоплен |
| 12000 | 85 | -19 | 82 | 60 | затоплен |
| 11000 | 55 | -14 | 56,6 | 40 | 37,0 |
| 10000 | 26 | -10 | 31 | 40 | 35,6 |
| 9000 | 18 | -8 | 2 | 38 | 29,9 |
| 8000 | 18 | -5 | 5,1 | 32 | 27,0 |
| 7000 | 18 | -3 | 8,1 | 30 | 25,0 |
| 6000 | 18 | 0 | 11 | 30 | 23,0 |
| 5000 | 18 | 2 | 13,6 | 23 | 21,0 |
| 4000 | 26-30 | 4 | 21,7 | 22 | 19,4 |
| 3000 | 26-30 | 7 | 24,8 | 21 | 18,2 |
| 2000 | 26-30 | 9 | 25,4 | 19 | 17,6 |
| 1000 | 18 | 11 | 17,8 | 17 | 15,9 |
| 0 | 18 | 13 | 18 | 18 | 13,9 |

Примечание: Отметки дна озера даны с учетом заиления и поднятия

В таблице 6 дана реконструкция движения порогов, определяющих сток в тот или иной бассейн. Основываясь на этих данных, можно предположить, что отметкой, лимитирующей уровенный режим озера Ильмень, последние 10 тыс. лет, как и сейчас, являются отметки Ладожских порогов. Уклон р. Волхов, для различных уровней воды в озере, оценивался нами по уровню прохождения половодья 1885 года и по межнным уровням 1886⁵, до постройки Волховской ГЭС.

⁵ Озеро Ильмень. Карта озера и притоков. Составлена по исследованиям Ильменской описной партии в 1886-88 годах под руководством инженера С. Жвана и Молого-Мстинской описной партии в 1885 году под руководством инженера Э. Вилькена, изд-во МПС.

Таблица 6. Движения отметок водоразделов, замыкающих сток из оз. Ильмень**Table 6.** The movement of the marks of the watershed, closing the runoff from the Lake Ilmen

| Лет назад | уровень моря, м БС | отметка Шелонского водораздела | отметка Ладож- ского порога | Уровни, м БС | |
|--------------|-----------------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------|-------------|
| | | | | Иль- мень | Ла- дога |
| 13000 | -175 | затоплен (28,7) | затоплен (38,0) | 85 | лед |
| 12000 | -170 | затоплен (31,1) | затоплен (37,5) | 60 | 60 |
| 11000 | -160 | затоплен (35,3) | затоплен (37,0) | 40 | 40 |
| 10000 | -130 | 37,4 | 35,6 | 40 | 13,5 |
| 9000 | -100 | 40,3 | 29,9 | 38 | 5 |
| 8000 | -70 | 43 | 27,0 | 32 | 11 |
| 7000 | -40 | 45,2 | 25,0 | 30 | 11 |
| 6000 | -10 | 47,1 | 23,0 | 30 | 6 |
| 5000 | -7 | 48,5 | 21,0 | 23 | 4,5 |
| 4000 | -5 | 49,6 | 19,4 | 22 | 5 |
| 3000 | -3 | 51,2 | 18,2 | 21 | 11 |
| 2000 | -1 | 51,6 | 17,6 | 19 | 10 |
| 1000 | 0 | 51,8 | 15,9 | 17 | 7 |
| 0 | 0 | 53 | 13,9 | 18 | 5 |

Исходя из нашей реконструкции, сток по р. Шелони в сторону р. Великой прекратился около 10 тыс. лет назад, а не позже, как обычно считается [Васильева и др., 2012]. Обратного течения р. Волхова в Ильмень, скорее всего, не было, так как уровень оз. Ильмень всегда превышал отметку Ладожских порогов. Сток на север, через долину рек Мшага – Киба и далее в р. Луга также невозможен, поскольку отметки водораздела здесь еще выше (55-58 м), слой осадочных пород меньше, следовательно, упругие деформации тоже будут иметь меньшую амплитуду и, главное, время схода ледника и послеледникового подъема были более поздние.

Возраст верховьев наиболее крупных водотоков Южного Приильменья – рек Пола и Ловать составляет 13-14 тыс. лет. Их базисом эрозии служил уровень приледникового озера, образовавшегося на южной периферии отступающего ледника, который в свою очередь контролировался отметками водоразделов, через которые происходил сток воды в море. Первый базис эрозии – 85 м БС (Великие Луки), второй – 60 м БС (Дунаево). Дольше всего приледниковое озеро держалось на абсолютных отметках 40 м (устье Близнаи). Около

5 тыс. лет назад уровень стабилизировался на отметках 20-22 м БС (Черенчицы). Большие глубины в устьевых областях притоков озера позволяют предположить, что недавно отметки озера были несколько ниже современных, однако они не могли опускаться ниже отметок Ладожских порогов. Реки, хотя с геологической точки зрения достаточно молодые, в среднем и нижнем течении имеют выработанный продольный профиль.

Территория, занимаемая ныне бассейнами рек Полисть, Порусья, Редья, Холынья, Снежа, Перехода, Псижа, в период деградации ледника находились полностью под водой приледникового озера. Примерно 11 тыс. лет назад уровень озера понизился ниже отметок водораздела – болотного массива Красный Мох и Полисто-Ловатской болотной системы. С этого времени реки начинают свое существование.

В первоначальный период после отступления ледника все реки Южного Приильменя текли по почти плоскому дну, состоящему из флювиогляциальных отложений. Руслу рек были обычно приурочены к доледниковым речным долинам. Преобладающим типом руслового процесса являлось свободное меандрирование, следы которого можно видеть до сих пор. Даже по коренным берегам водотоков на достаточном удалении от русла прослеживаются аллювиальные отложения различной мощности. Возраст этих русловых отложений, по качественной оценке, 5 тыс. лет и более. Затем, по мере понижения базиса эрозии, происходило врезание русел в водоупорные ледниковые отложения Валдайского горизонта. Базис эрозии – уровень оз. Ильмень – стабилизировался около 5 тыс. лет назад. В последнее тысячелетие вертикальный размыв резко усилился, что связано с преодолением трудноразмываемых флювиогляциальных четвертичных суглинистых пород и непосредственным воздействием потока на нижележащие девонские отложения [Johansson, 2018] и в настоящее время по нашей оценке достигает 1-3 см в год.

По мере врезания русел рек плановые деформации существенно замедлились. Руслу развиваются, хотя и не полной мере, по типу вынужденного меандрирования с элементами ленточногрядового и побочного типа руслового процесса по типизации Государственного гидрологического института⁶.

Выводы

В результате воздействия ледникового покрова, имевшего мощность на исследуемой территории более 1000 м, величина деформационной просадки грунта составила примерно от

⁶ Рекомендации по учету деформаций речных русел при проектировании инженерных сооружений на реках зоны Байкало-Амурской железнодорожной магистрали. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 71 с.

12 м на южном берегу Ладожского озера до 50 м в верховьях р. Пола. Последующее компенсационное деформационное поднятие оценивается в разных частях территории от 2 до 10 м.

Формирование и эволюция речной сети Южного Приильменя во многом зависели от изменений базиса эрозии, в качестве которого на начальном этапе их развития выступало приледниковое озеро, затем Ладожское озеро, Волховские пороги и озеро Ильмень.

Возраст верховьев наиболее крупных водотоков Южного Приильменя – рек Пола и Ловать составляет 13-14 тыс. лет. Формирование рек Полисть, Порусья, Редья, Холынья, Снежа, Перехода, Псижа началось примерно 11 тыс. лет назад.

В первоначальный период после отступления ледника все реки Южного Приильменя текли по почти плоскому дну, состоящему из флювиогляциальных отложений. Преобладающим типом руслового процесса являлось свободное меандрирование. Затем, по мере понижения базиса эрозии, происходило врезание русел в водоупорные ледниковые отложения Валдайского горизонта. В последнее тысячелетие вертикальный размыв резко усилился, что связано с преодолением трудноразмываемых флювиогляциальных четвертичных суглинистых пород и непосредственным воздействием потока на нижележащие девонские отложения, и в настоящее время достигает 1-3 см в год. Плановое развитие русел рек существенно замедлилось, тип руслового процесса сменился на вынужденное меандрирование.

Литература

References

Амантов А.В., Амантова М.Г., Рябчук Д.В., Сергеев А.Ю., Гусенцова Т.М., Жамойда В.А., Фьелдскар В. Проблемы голоценового развития Южного Приладожья // Региональная геология и металлогения. 2016. № 65. С. 37-49

Барац Н.И. Механика грунтов: учебное пособие. Омск: Изд-во СибАДИ, 2008. 106 с.

Amantov A.V., Amantova M.G., Ryabchuk D.V., Sergeev A.Yu., Gusentsova T.M., Zhamoida V.A., Fjeldskaar W. Problemy golotsenovogo razvitiya Yuzhnogo Priladozh'ya [On the question of Holocene development of south Lake Ladoga region]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya* [Regional geology and metallogeny], 2016, no. 65, pp. 37-49 (In Russian; abstract in English)

Barats N.I. *Mekhanika gruntov: uchebnoe posobie* [Soil mechanics]. Omsk, SibADI Publ., 2008. 106 p. (In Russian)

- Васильева Н.В., Субетто Д.А., Вербицкий В.Р., Кротова-Путинцева А.Е. История формирования Ильмень-Волховского бассейна // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. 2012. №153(2). С. 141-147.
- Виноградов А.Ю., Обязов В.А. Гляциоизостатическое поднятие Приильменской низменности в голоцене // Сборник научных трудов XXIV Международной научно-практической конференции «Научные исследования: ключевые проблемы III тысячелетия» (Москва, 01-02 апреля 2018 г.). М.: Проблемы науки, 2018. С. 99-102.
- Геология СССР. В 48 томах. Том I. Ленинградская, Псковская и Новгородская области. Геологическое описание. Северо-Западное территориальное / Гл. ред. А.В. Сидоренко. М.: Недра, 1971. 504 с.
- Гроссвальд М.Г. Оледенение Русского Севера и Северо-Востока в эпоху последнего великого похолодания. М.: Наука, 2009. 152 с.
- Chistyakov A.A., Makarova N.V., Makarov V.I. *Chetvertichnaya geologiya: uchebnik* [Quaternary geology]. Moscow, GEOS Publ., 2000. 303 p. (In Russian)
- Dinamicheskaya geomorfologiya: Uchebnoe posobie* [Dynamic geomorphology]. Moscow, MSU Publ., 1992. 448 p. (In Russian)
- Elfimov V.I. *Izmenenie ust'evykh uchastkov rek v period prokhozheniya volny polovod'ya: Ucheb. Posobie* [Change in estuarine sections of rivers during the passage of a flood wave]. Moscow, RUDN Publ., 2008. 222 p. (In Russian)
- Geologiya SSSR. V 48 tomakh. Tom 1. Leningradskaya, Pskovskaya i Novgorodskaya oblasti. Geologicheskoe opisanie. Severo-Zapadnoe territorial'noe* [Geology of the USSR. In 48 volumes. Volume 1. Leningrad, Pskov and Novgorod regions. Geological description. Northwest Territorial] / A.V. Sidorenko (ed.). Moscow, Publ. Nedra, 1971. 504 p.
- Gorlach A., Hang T., Kalm V. GIS-based reconstruction of Late Weichselian proglacial lakes in northwestern Russia and Belarus. *Boreas*, 2017, vol.46, iss.3, pp. 486-502. DOI: [10.1111/bor.12223](https://doi.org/10.1111/bor.12223).
- Grosswald M.G. *Oledenenie Russkogo Severa i Severo-Vostoka v epokhu poslednego velikogo pokholodaniya* [Ice sheets in the Russian North and North-East during the last Great Chill]. Moscow, Nauka Publ., 2009. 152 p. (In Russian; abstract in English)
- Hughes A.L.C., Gyllencreutz R., Lohne Ø.S., Mangerud J., Svendsen J.I. The last Eurasian ice sheets – a chronological database and time-slice reconstruction, DATED-

- Динамическая геоморфология: Учебное пособие* / под ред. Г.С. Афаньева, Ю.Н. Симонова, А.И. Спиридонова. М.: Изд-во МГУ, 1992. 448 с.
- Елфимов В.И.* Изменение устьевых участков рек в период прохождения волны половодья: Учеб. пособие. М.: РУДН, 2008. 222 с.
- Кузнецов В.В.* Физика земных катастрофических явлений. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1992. 95 с.
- Квасов Д.Д.* Позднечетвертичная история крупных озер и внутренних морей Восточной Европы. Л.: Изд-во Наука. Лен. отд-ние, 1975. 279 с.
- Марков К.К.* Поздне- и послеледниковая история окрестностей Ленинграда на фоне поздне- и послеледниковой истории Балтики // Труды комиссии по изучению четвертичного периода. 1934. Т. IV. Вып. 1. С. 5-70
- Марков К.К.* Послеледниковая история юго-восточного побережья Ладозского озера // Вопросы географии. 1949. Выпуск 12. С. 213-220
- Мернер Н.А.* Обмеление моря. Засухи и вымирание млекопитающих // Катастрофы и история Земли: Новый униформизм / Под ред. У. 1. *Boreas*, 2016, vol. 45, iss.1, pp. 1-45. DOI: [10.1111/bor.12142](https://doi.org/10.1111/bor.12142).
- Johansson P. Laser scanning technology in mapping and classifying of meltwater erosional forms in fell areas of Finnish Lapland. In Subetto D.A. et. al. (editors) *Excursion guide and Abstracts of INQUA Peribaltic Working Group Meeting and Excursion 2018 International Scientific Conference and School for Young Scientists «Lateglacial-Interglacial transition: glaciotectionic, seismic activity, catastrophic hydrographic and landscape changes» (Petrozavodsk, August 19-25, 2018)*. Petrozavodsk, Publ. of Karelian Research Centre of Russian Academy of Science, 2018, pp. 71-72.
- Kuznetsov V.V. *Fizika zemnykh katastroficheskikh yavlenii [Earth catastrophic physics]*. Novosibirsk: Nauka Publ., 1992, 95 p. (In Russian)
- Kvasov D.D. *Pozdnechetvertichnaya istoriya krupnykh ozer i vnutrennikh morei Vostochnoi Evropy [Late Quaternary history of large lakes and inland seas of Eastern Europe]*. Leningrad, Nauka Publ., 1975, 279 p. (In Russian)
- Markov K.K. *Pozdne- i poslelednikovaya istoriya okrestnostei Leningrada na fone pozdne- i poslelednikovoi istorii Baltiki [Late and postglacial history of the vicinity of Leningrad against the background of late and postglacial history of the Baltic]*. *Trudy komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda [Proceedings of the Commission for the Study of the Quaternary]*, 1934, t. 4, iss. 1, pp. 5-70 (In Russian)
- Markov K.K. *Poslelednikovaya istoriya yugo-vostochnogo poberezh'ya Ladozhskogo ozera [Postglacial*

Берггрена, Дж. Ван Кауверинга; Перевод с англ. Б.А. Борисова и др., под ред. В.Т. Фролова. М.: Мир, 1986а, с. 388-393.

Мернер Н.А. Эвстазия, изменения геоида и взаимодействия многих геофизических факторов // Катастрофы и история Земли: Новый униформизм / Под ред. У. Берггрена, Дж. Ван Кауверинга. Перевод с англ. Б.А. Борисова и др., под ред. В.Т. Фролова. М.: Мир, 1986б, с. 394-412.

Николаев Н.И. О новейшем этапе развития Фенноскандии, Кольского полуострова и Карелии // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отделение геологии. 1967. Т.42. № 1. С. 49–68

Никонов А.А. Голоценовые и современные движения земной коры (Геолого-геоморфологические и сейсмо-тектонические вопросы). М.: Наука, 1977. 240 с.

Никонов А.А., Энман С.В., Флейфель Л.Д. Голоценовые и современные движения земной коры в переходной зоне от Фенноскандинавского щита к Восточно-Европейской платформе в районе Ладожского грабена // Материалы XIV Междуна-

history of the southeastern coast of Lake Ladoga]. *Voprosy geografii* [Questions of geography], 1949, iss. 12, pp. 213-220 (In Russian)

Mörner N.-A. Low sea levels, droughts, and mammalian extinctions In W.A. Berggren, J.A. Van Couvering (ed.), *Catastrophes and Earth History: The New Uniformitarianism*. Princeton, New Jersey, Publ. Princeton University Press, 1984, pp. 387-394 (Russ. ed.: Merner N.A. Obmelenie morya. Zasukhi i vymiranie mlekopitayushchikh. In U. Berggrena, Dzh. Van Kauveringa (ed.) *Katastrofy i istoriya Zemli: Novyi uniformizm* Moscow, Publ. Mir, 1986a, pp. 388-393)

Mörner N.-A. Eustasy, geoid changes, and multiple geophysical interaction In W.A. Berggren, J.A. Van Couvering (ed.), *Catastrophes and Earth History: The New Uniformitarianism*. Princeton, New Jersey, Publ. Princeton University Press, 1984, pp. 395-416 (Russ. ed.: Merner N.A. Evstaziya, izmeneniya geoida i vzaimodeistviya mnogikh geofizicheskikh faktorov. In U. Berggrena, Dzh. Van Kauveringa (ed.), *Katastrofy i istoriya Zemli: Novyi uniformizm*. Moscow, Mir Publ., 1986b, pp. 394-412).

Nikolaev N.I. O noveishem etape razvitiya Fennoskandii, Kol'skogo poluostrova i Karelii [About the newest stage of development of Fennoscandia, the Kola Peninsula and Karelia]. *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytatelei prirody, otdelenie geologii* [Bulletin of the Moscow Society of Naturalists, Department of Geology], 1967, t. 42, No 1, pp. 49–68 (In Russian)

Nikonov A.A. *Golotsenovyie i sovremennyye dvizheniya zemnoi kory* (Geologo-geomorfologicheskie i seismotek-

родной конференции «Связь поверхностных структур земной коры с глубинными» (г. Петрозаводск, 27-31 октября 2018 года). Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2008. Часть 2. С. 79–81.

Субетто Д.А. История формирования Ладожского озера и его соединения с Балтийским морем // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). 2007. № 1 (2). С. 111-120.

Цытович Н.А. Механика грунтов (краткий курс): Учебник для строит. Вузов / 4-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1983. 288 с.

Чистяков А.А., Макарова Н.В., Макаров В.И. Четвертичная геология: учебник. М.: ГЕОС, 2000. 303 с.

Шельфы Евразии в мезозое и кайнозое: Атлас палеогеографических карт: в 2 т. Т.2 / Гл. ред. М.Н. Алексеев. М.: Геологический институт АН СССР, 1991. 106 с.

Шитов М.В. Голоценовые трансгрессии Ладожского озера. Автореф. дисс. ... канд. г.-м. наук. СПб., 2007. 17 с.

Шуйский Ю.Д., Симеонова Г.А. О влиянии геологического строения

tonicheskie voprosy) [*Recent crustal movements (Geological-geomorphological and seismotectonic aspects)*]. Moscow, Nauka Publ., 1977. 240 p. (In Russian)

Nikonov A.A., Enman S.V., Fleifel' L.D. Golotsenovyie i sovremennyye dvizheniya zemnoi kory v perekhodnoi zone ot Fennoskandinavskogo shchita k Vostochno-Evropейskoi platforme v raione Ladozhskogo grabena [Holocene and modern movements of the earth's crust in the transition zone from the Fennoscandinavian shield to the East Europe platform in the Ladoga graben area]. *Materialy chetyrnadtsatoi Mezhdunarodnoi konferentsii «Svyaz' poverkhnostnykh struktur zemnoi kory s glubinnymi» (g. Petrozavodsk, 27-31 oktyabrya 2018)* [Proceedings of the 14th international conference «Relationship between the surface and deep structures of the Earth's crust» (Petrozavodsk, October 27–31, 2008)] Petrozavodsk: Karel'skii nauchnyi tsentr RAN, 2008. Part 2, pp. 79–81. (In Russian)

Ramsay W. Changes of sea-level, resulting from the increase and decrease of glaciacion. *Fennia*, 1931, 52(5), pp. 1-62

Rinterknecht V., Hang T., Gorlach A., Kohv M., Kalla K., Kalm V., Subetto D., Bourlès D., Léanni L., Guillou V. The Last Glacial Maximum extent of the Scandinavian Ice Sheet in the Valday Heights, western Russia: Evidence from cosmogenic surface exposure dating using ^{10}Be . *Quaternary Science Reviews*, 2018, Vol. 200, pp. 106-113. DOI: [10.1016/j.quascirev.2018.09.032](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.09.032)

Shel'fy Evrazii v mezozoe i kainozoe: Atlas paleoгеографических карт: v 2 vol. Vol.2 [*Palaeogeographic atlas of the shelf regions of Eurasia for the mesozoic and cenozoic*]. Moscow, Publ. Geological Institute of the

морских берегов на процессы абразии // Доклады Болгарской академии наук. 1976. Т. 29. № 2. С. 57-79.

Gorlach A., Hang T., Kalm V. GIS-based reconstruction of Late Weichselian proglacial lakes in northwestern Russia and Belarus // *Boreas*. 2017. Vol.46. Iss. 3. pp. 486-502, DOI: [10.1111/bor.12223](https://doi.org/10.1111/bor.12223).

Hughes A.L.C., Gyllencreutz R., Lohne Ø.S., Mangerud J., Svendsen J.I. The last Eurasian ice sheets – a chronological database and time-slice reconstruction, DATED-1 // *Boreas*. 2016. Vol. 45. Iss. 1. pp. 1-45. DOI: [10.1111/bor.12142](https://doi.org/10.1111/bor.12142).

Johansson P. Laser scanning technology in mapping and classifying of melt-water erosional forms in fell areas of Finnish Lapland // Excursion guide and Abstracts of INQUA Peribaltic Working Group Meeting and Excursion 2018 International Scientific Conference and School for Young Scientists «Lateglacial-Interglacial transition: glaciotectionic, seismoactivity, catastrophic hydrographic and landscape changes» (Petrozavodsk, August 19-25, 2018) / edited by Subetto D. A. et al. Petrozavodsk: Karelian Research Centre of Russian Academy of Science, 2018. pp. 71-72.

Academy of Sciences of the USSR, 1991. 106 p. (In Russian and English)

Shitov M.V. *Golotsenovye transgressii Ladozhskogo ozera. Avtoref. diss. kand. geol-min. nauk [Holocene transgressions of Lake Ladoga. Ph. D. (geological and mineralogical) thesis]*. SPb, 2007. 17 p. (In Russian)

Shuiskii Yu.D., Simeonova G.A. O vliyanii geologicheskogo stroeniya morskikh beregov na protsessy abrazii [On the influence of the geological structure of sea coasts on the processes of abrasion]. *Doklady Bolgarskoi Akademii Nauk [Reports of the Bulgarian Academy of Sciences]*, 1976, vol. 29, no 2, pp. 57-79. (In Russian)

Stokes C.R. Deglaciation of the Laurentide Ice Sheet from the Last Glacial Maximum. *Cuadernos de Investigación Geográfica = Geographical Research Letters*, 2017, vol. 43, no. 2, pp. 377-428. DOI: [10.18172/cig.3237](https://doi.org/10.18172/cig.3237).

Subetto D.A. Istoriya formirovaniya Ladozhskogo ozera i ego soedineniya s Baltiiskim morem [The history of the formation of Lake Ladoga and its connection with the Baltic Sea]. *Obshchestvo. Sreda. Razvitie (Terra Humana) [Society. Environment. Development (Terra Numana)]*, 2007, no 1 (2), pp. 111-120. (In Russian)

Subetto D.A., Shvarev S.V., Nikonov A.A., Zaretskaya N.E., Poleshchuk A.V., Potakhin M.S. New evidence of the Vuoksi River origin by geodynamic cataclysm. *Bulletin of the Geological Society of Finland*, 2018, vol. 90, pp 275-289, DOI: [10.17741/bgsf/90.2.010](https://doi.org/10.17741/bgsf/90.2.010).

Tsytovich N.A. *Mekhanika gruntov (kratkii kurs): Uchebnik dlya stroitel'nykh vuzov [Soil mechanics (short*

- Ramsay W.* Changes of sea-level, resulting from the increase and decrease of glaciation. *Fennia*. 1931. 52(5). P. 1-62
- Rinterknecht V., Hang T., Gorlach A., Kohv M., Kalla K., Kalm V., Subetto D., Bourlès D., Léanni L., Guillou V.* The Last Glacial Maximum extent of the Scandinavian Ice Sheet in the Valdai Heights, western Russia: Evidence from cosmogenic surface exposure dating using ^{10}Be // *Quaternary Science Reviews*. 2018. Vol. 200. P. 106-113. DOI: [10.1016/j.quascirev.2018.09.032](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.09.032)
- Stokes C.R.* Deglaciation of the Laurentide Ice Sheet from the Last Glacial Maximum // *Cuadernos de Investigación Geográfica = Geographical Research Letters*. 2017. Vol 43. No 2. P.377-428 DOI: [10.18172/cig.3237](https://doi.org/10.18172/cig.3237).
- Subetto D.A., Shvarev S.V., Nikonov A.A., Zaretskaya N.E., Poleshchuk A.V., Potakhin M.S.* New evidence of the Vuoksi River origin by geodynamic cataclysm // *Bulletin of the Geological Society of Finland*. 2018. Vol. 90. P. 275-289. DOI: [10.17741/bgsf/90.2.010](https://doi.org/10.17741/bgsf/90.2.010).
- course)*]. Moscow, Vyssh. shk. Publ., 1983. 288 p. (In Russian)
- Vasilieva N.V., Subetto D.A., Verbitsky V.R., Krotova-Putintseva A.E.* Istoriya formirovaniya Il'men'-Volkhovskogo basseina [History of the Ilmen-Volkhov Basin Development]. *Izvestiya Rossiiskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. A.I. Gertsena* [*Izvestia: Herzen University Journal of Humanities & Sciences*], 2012, no. 153(2), pp. 141-150. (In Russian; abstract in English)
- Vinogradov A.Yu., Obyazov V.A.* Glyatsioizostaticheskoe podnyatie Priil'menskoj nizmennosti v golotsene [Glacio-isostatic uplift of the Priilmen lowland in the Holocene]. *Sbornik nauchnykh trudov chetyrnadtsatoi Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Nauchnye issledovaniya: klyuchevye problemy tret'ego tysyacheletiya» (Moskva, 01-02 aprelya 2018)* [Collection of scientific papers of the fourteenth International scientific-practical conference "Scientific research: key problems of the third millennium" (Moscow, April 01-02, 2018)], Moscow, Problems of science Publ., 2018, pp. 99-102. (In Russian)