

## ЭВОЛЮЦИЯ ГИДРОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

## THE EVOLUTION OF THE EARTH'S HYDROSPHERE

УДК 556

DOI: 10.34753/HS.2019.1.2.002

УРОВЕННЫЙ РЕЖИМ ОЗЕРА  
ИЛЬМЕНЬ

А.Ю. Виноградов<sup>1,2</sup>, В.А. Обязов<sup>1</sup>,  
Д.А. Субетто<sup>3</sup>, М.М. Кадацкая<sup>1</sup>,  
И.А. Виноградов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ООО НПО «Гидротехпроект», г. Валдай,  
Россия; <sup>2</sup>Санкт-Петербургский государ-  
ственный лесотехнический университет,  
г. Санкт-Петербург, Россия;  
<sup>3</sup>Российский государственный педагогиче-  
ский университет им. А.И. Герцена,  
г. Санкт-Петербург, Россия

gd@npogtp.ru

**Аннотация.** Исследования изменений уровня озера Ильмень важны для изучения развития речной сети в его бассейне, так как он является базисом эрозии для них. Цель работы состояла в оценке уровня режима озера Ильмень в течение голоцена, включая современный период. Уровень режим озера определяется не только поступлением вод с водосбора, но и регулируется стоком вытекающей из него реки Волхов, который до строительства 1926 году Волховской ГЭС зависел от отметок Пчевских и Велецких порогов в низовьях реки.

THE WATER LEVEL REGIME OF  
LAKE ILMEN

Alexey Yu. Vinogradov<sup>1,2</sup>, Viktor A. Obyazov<sup>1</sup>,  
Dmitriy A. Subetto<sup>3</sup>, Mariya M. Kadatskaya<sup>1</sup>,  
Ivan A. Vinogradov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Scientific and Industrial Research Associa-  
tion *Gidrotehproekt*, Valday, Russia  
<sup>2</sup>Saint Petersburg State Forest Technical  
University, St. Petersburg, Russia  
<sup>3</sup>Herzen State Pedagogical University of Rus-  
sia, St. Petersburg, Russia

gd@npogtp.ru

**Abstract.** Researches of changes in the water level of Lake Ilmen are important for studying the development of the river network in its basin, since it is the basis of erosion for them. The purpose of the work was to assess the level regime of Lake Ilmen during the Holocene, including the modern period. The level regime of the lake is determined not only by the inflow of waters from the catchment, but is also regulated by the runoff of the Volkhov River flowing out of it, which, which prior to the construction of the Volkhov Hydroelectric Power Station in 1926, depended on the marks

В течение голоцена Пчевские и Велецкие пороги размывались рекой Волхов, в результате чего их отметки понижались. Выполнена ориентировочная реконструкция изменения отметок порогов в зависимости от увлаженности климата в предыдущие столетия. Оценка той или иной степени увлажнения климата за столетний/тысячелетний период достаточно условна и принималась как отношение количества дождливых годов к годам с засухами на основании летописных данных. К началу нашей эры минимальный уровень озера находился на отметках не ниже 19,5 м. Максимальный уровень, учитывая схожесть климата с последними столетиями, скорее всего, не превышал отметки в 24,5 м, то есть амплитуда уровней была меньше современной. Начиная со второй половины первого тысячелетия до наших дней, уровень озера определялся только климатическими особенностями.

На основании того, что минимальные отметки дна некоторых рек, в частности Ловати, Мсты и Шелони, впадающих в Ильмень, находятся не только ниже минимального уровня озера, но и минимальных отметок его дна, можно сделать предварительный вывод, что уровень озера Ильмень в прошлом был несколько ниже, нежели в настоящее время и составлял современные 16-17 м балтийской системы.

of the Pchevsky and Veletsky rapids in the downstream.

During the Holocene, the marks of the Pchevsky and Veletsky rapids were decreasing, because they been eroded by the Volkhov River.

An approximate reconstruction of the change in rapids marks has been carried out, depending on the humidity of the climate in previous centuries. Evaluation of a varying degree humidification over a century / millennium is rather arbitrary and was taken as the ratio of the number of rainy years to years with droughts based on annals data. By the beginning of our era, the minimum water level of the lake was not less than 19.5 m. The maximum water level most likely did not exceeding the mark of 24.5 m, considering the similarity of climate to the last centuries, that is, the amplitude of the water levels was less than modern. Only climatic features determined the water level regime of the lake starting from the second half of the first millennium to the present day.

On the grounds of the fact that the minimum bottom marks of some rivers, flowing into lake Ilmen (in particular Lovat', Msta and Shelon'), are lower not only than the minimum water level of the lake, but also than the minimum marks of its bottom, we can do a preliminary conclusion that the water level of Lake Ilmen in the past was rather lower than at present and was at modern mark of 16-17 m Baltic system.

**Ключевые слова:** уровенный режим; озеро Ильмень; река Волхов; Пчевские пороги; Велецкие пороги; базис эрозии; скорость размыва.

**Keywords:** level mode; Lake Ilmen; Volkhov River; Pchevsky rapids; Veletsky rapids; erosion basis; erosion rate

### **Введение**

Развитие речной сети бассейна оз. Ильмень во многом зависит от уровня стояния его вод, являющимся для притоков базисом эрозии. Поскольку эти реки возникли лишь после Валдайского оледенения около 15-12 тыс. л.н. [Виноградов, Обязов, Кадацкая, 2019], они продолжают активно разрабатывать свой продольный профиль. В связи с этим представляется важным выполнить оценку изменения уровня озера в течение голоцена, включая современный период.

### **Объект исследования**

Озеро Ильмень расположено в Новгородской области России и представляет собой обширный водоем, площадь которого при наивысших уровнях ( $\approx 23,5$  м Балтийской системы (далее – БС)) составляет более 2000 км<sup>2</sup>. При этом максимальная его глубина при таких отметках не превышает 10 м, при средних уровнях озера – около 18,5 м БС – она близка 5 м.

### **Уровенный режим озера Ильмень**

Уровенный режим озера определяется не только поступлением вод с водосбора, но и регулируется стоком вытекающей из него река Волхов, который до строительства 1926 г. Волховской гидроэлектростанции (далее – ГЭС) регулировался отметками Пчевских и Велецких порогов в низовьях реки.

Пороги образовались в месте пересечения с рекой Силурийского глинта. С 1926 г. они затоплены в результате подпора от плотины Волховской ГЭС, расположенной на реке Волхов в 26,5 км от её впадения в Ладожское озеро. Первоначальный нормальный подпорный уровень (далее – НПУ) Волховского водохранилища – 15,74 м БС (после реконструкции – 17,25 м, форсированный – 17,9 м, уровень мертвого объема (УМО) – 14,7 м БС<sup>1</sup>). При уровнях у

---

<sup>1</sup> Волховское водохранилище [Электронный ресурс] // Федеральное агентство водных ресурсов. URL: <http://voda.mnr.gov.ru/reservoirs/detail.php?ID=7330>

плотины выше 17 м подпор распространяется до озера Ильмень, минимальные отметки дна которого составляют 13,3 м БС.

Общая длина реки Волхов – 224 км. У с. Пчева (74-й км от Ладожского озера) река (рисунок 1) врезается в глинистые известняки девонского возраста, ширина русла реки Волхов в этом месте достигает 400-450 м. Между с. Пчева и с. Подсопье (62-й км) находятся Пчевские пороги, которые состоят из 8 каменистых гряд: Меньшаковская, Братана, Волынская, Сухая, Дворцовая, Князьковская, Верхняя и Нижняя Никольские (рисунок 1). Общая длина участка 13 км. Наименьшие глубины до 0,5 м наблюдались до строительства ГЭС на Меньшаковской гряде.

Ниже с. Гостинополье (36-й км) русло проходит через трудноразмываемые силурийские известняки, его ширина на этом участке составляет около 400 м. На 35-м км у с. Вельцы начинаются Велецкие пороги (рисунок 2), которые в настоящее время перекрыты подпором от Волховской ГЭС. Минимальная глубина при УМО водохранилища составляет 1,3 м.

Общий вид расположения порогов на реке Волхов показаны на рисунке 3.

Изменение отметок дна порогов по данным промеров за различные годы представлено в таблице 1.

**Таблица 1.** Изменение отметок дна порогов, м БС<sup>2</sup>

**Table 1.** Changes of bottom marks of thresholds, m of the Baltic system

Створ	1886	1924	1959	1975	размыв за 38 лет
Меньшаковская гряда Пчевских порогов	13,91	13,87	14,60	13,80	0,11
Сухая гряда (п. Тихорицы)	13,76	13,68	14,11	13,70	0,08
Велецкие пороги	13,50	13,55	12,46	13,50	0,00

<sup>2</sup> *Карта озера Ильменя, истока р. Волхова с устьем р. Мсты, устья р. Ловати с р. Полистью и устья р. Шелони, исследованных Ильменскою и Молого-Мстинскою описными партиями Министерства Путей Сообщения СПб: тип. Ильина, 1886. 59 л.*

*Общий технический отчет Отдела Изысканий Волховского Строительства / Под ред. В.М. Родевича. Л.: Издание Строительства Государственной Волховской Гидроэлектрической Силовой Установки, 1927. 440 с.*

*Лоция реки Волхов (второе издание). Ленинград, 1959. 40 с.*

*Лоция реки Волхов. Ленинград, 1975. 102 с.*

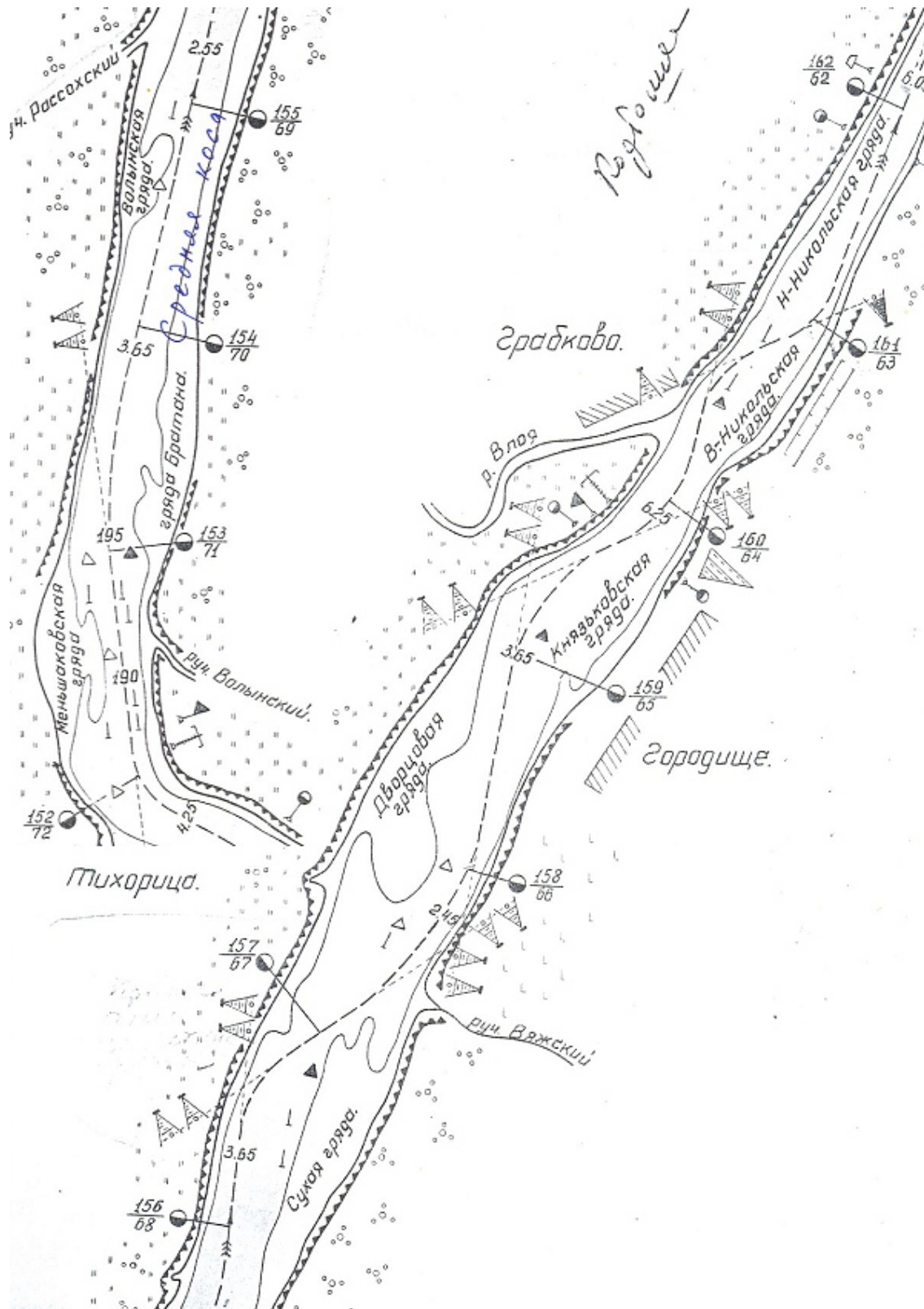


Рисунок 1. Пчевские пороги, 62-74 км от Ладожского озера<sup>3</sup>

Figure 1. Pchevsky rapids, 62-74 km from Lake Ladoga

<sup>3</sup> Лоция реки Волхов (второе издание). Ленинград, 1959. 40 с.

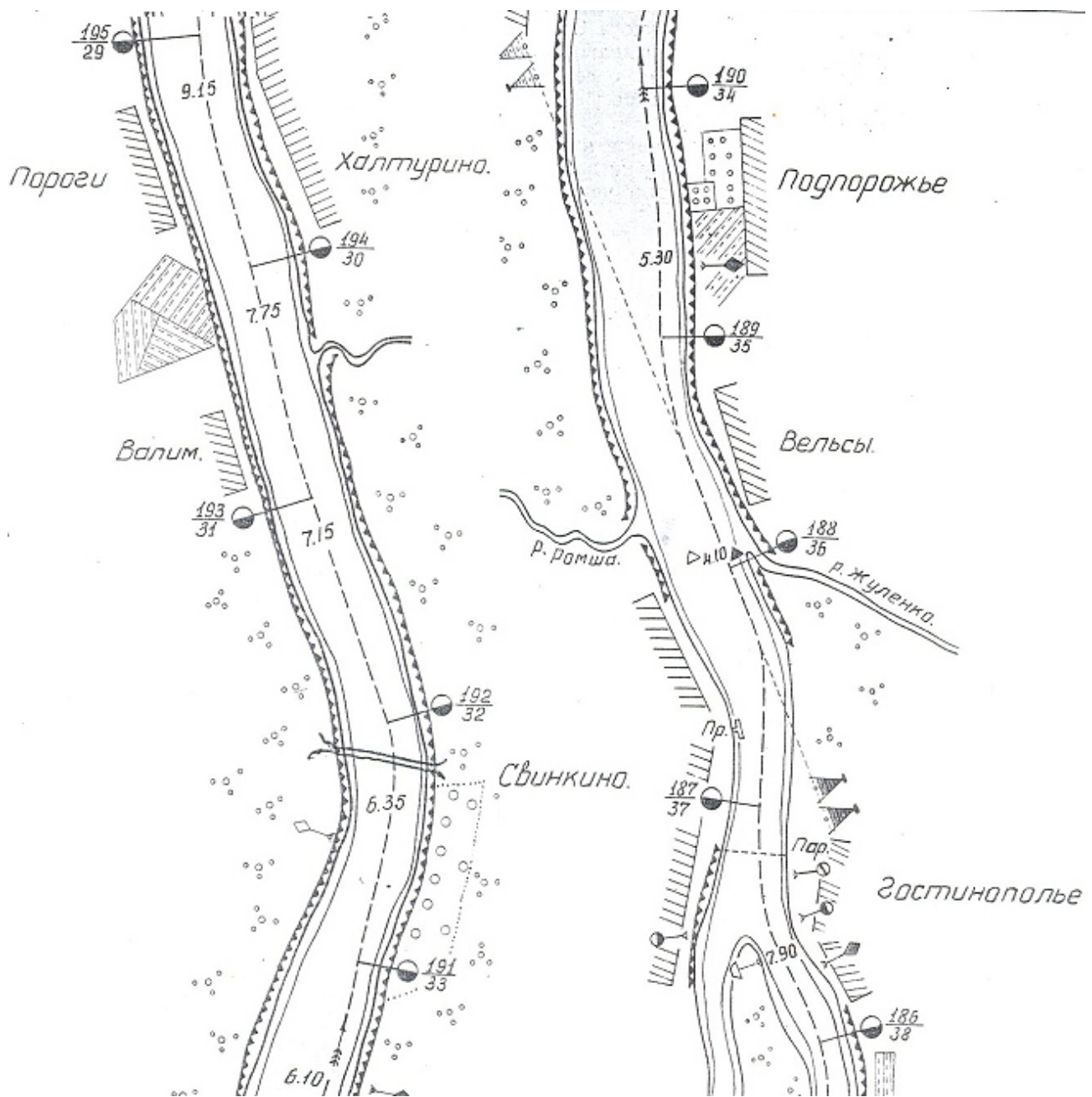


Рисунок 2. Велецкие пороги, 29-38 км от Ладожского озера<sup>4</sup>

Figure 2. Veletsky rapids, 29-38 km from Lake Ladoga

<sup>4</sup> Там же



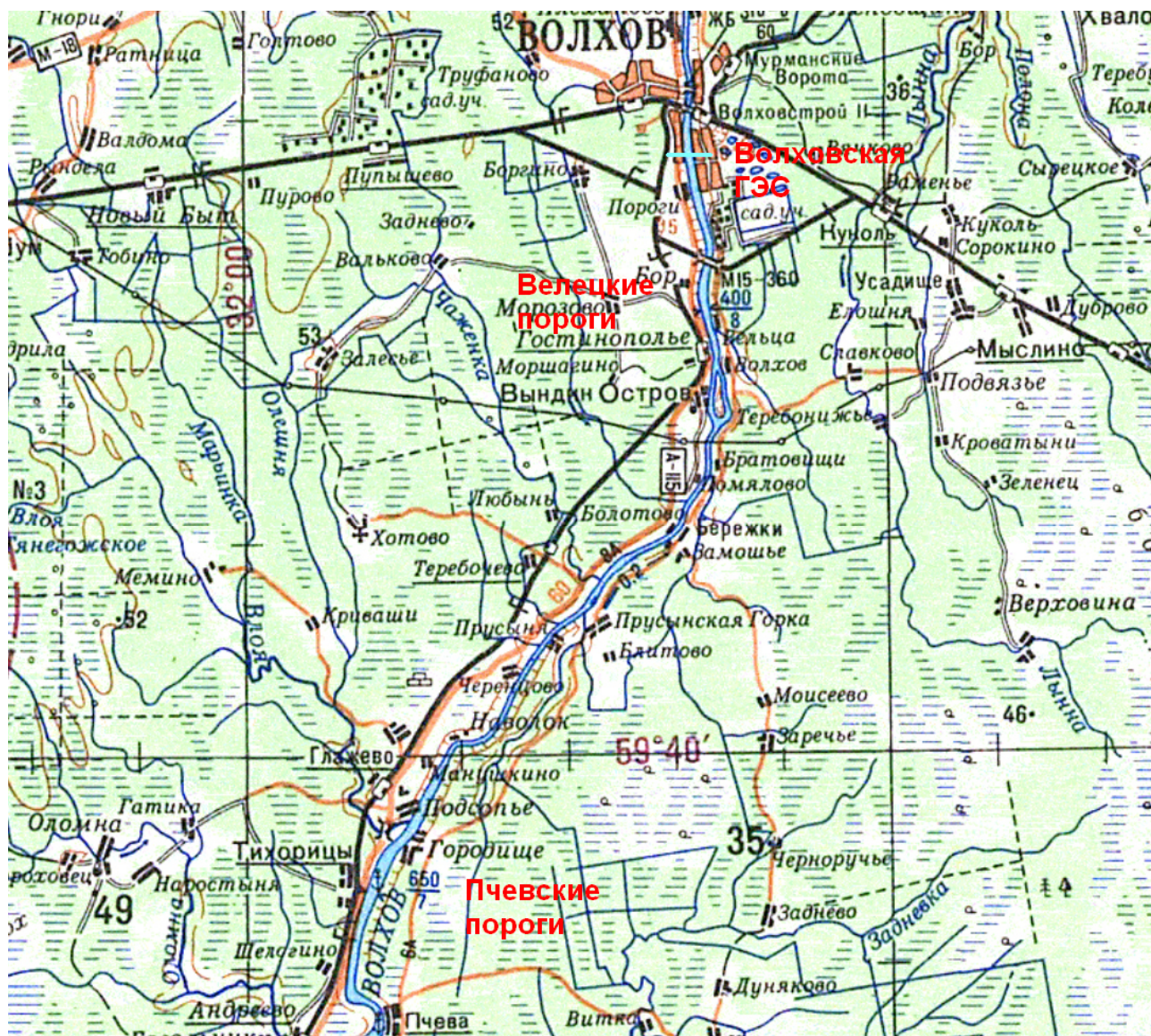


Рисунок 3. Местоположение Пчевских и Велецких порогов на реке Волхов<sup>5</sup>

Figure 3. Location of the Pchevsky and Veletsky rapids on the Volkhov River

По данным 1959 г. наблюдается увеличение отметок дна на Меньшаковской и Сухой грядах, что скорее всего связано с занесением порогов наносами вследствие подпорных явлений от Волховской ГЭС. Из общей картины выпадает отметка Велецких порогов за тот же год, что может быть вызвано проведением дноуглубительных работ и последующим заилением судового хода.

Для приблизительной оценки изменения отметок лимитирующего порога оценим суммарную скорость размыва и эндогенного опускания в 0,2-0,4 м в столетие.

<sup>5</sup> Топографическая карта: лист О-36-001: масштаб 1:500 000. Генеральный штаб, 1988

Рассмотрим размываемый участок дна единичной площади мощностью  $h$ . На него действуют сдвигающие напряжения [Виноградов, 1980]:

- от толщи водной массы:

$$\rho_w g H \cdot \sin \alpha ;$$

- от массы породы, слагающей дно (аллювиальные отложения или местный водоупор):

$$(\rho_s - \rho_w)(1 - \varepsilon)gh \cdot \sin \alpha ;$$

- касательное движущегося турбулентного потока:

$$\frac{g}{C^2} \rho_w V^2$$

где  $V$  – средняя скорость потока;

$C$  – коэффициент Шези [Барышников, Попов, 1988]:

$$C = \frac{1}{n} R^{1,3\sqrt{n}},$$

где  $n$  – коэффициент шероховатости;

$R$  – гидравлический радиус, м.

- от влекаемых и взвешенных наносов в придонном слое глубиной  $h_n$  с средней плотностью частиц  $\rho_s$  [Петров, Потапов, 2014]:

$$h_n k \rho_s g \sin \alpha$$

где  $k$  – концентрация наносов в единице объема;

- механическое воздействие потока на неровности дна. Модуль силы, воздействующий на неровность:

$$F = \rho_w S V^2 ,$$

откуда сдвигающее напряжение на препятствие площадью  $S$  [Зубов, 1978]:



$$\tau_m = \rho_g S V^2 / S = \rho_g V^2,$$

где  $S$  – фронтальная площадь препятствия, на которую воздействует поток, м<sup>2</sup>;  
 $V$  – придонная скорость потока, м/с:

$$V_{прд} = V_{ср} \frac{\lg(16,7 \cdot y / \Delta + 1)}{\lg 6,15 \cdot h / \Delta};$$

где  $y$  – ордината по оси, перпендикулярной поверхности дна потока, м;  
 $\Delta$  – высота выступов шероховатости, м [Гришанин, 1969].

Напряжение, препятствующее сдвигу, выражаются следующей зависимостью:

$$\tau_{yд} = (\rho_z - \rho_g)(1 - \varepsilon)gh \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi + c,$$

где  $\varphi$  – угол внутреннего трения,  
 $c$  – удельное сцепление донного грунта,  
 $\varepsilon$  – пористость.

Сдвиг (смыв) рассматриваемого участка произойдет в тот момент, когда сдвигающие напряжения превысят удерживающие:

$$\begin{aligned} \rho_g g H \cdot \sin \alpha \cdot S + (\rho_z - \rho_g)(1 - \varepsilon)gh \cdot \sin \alpha + \frac{g}{C^2} \rho_g V^2 + h_n k \rho_z g \cdot \sin \alpha + \rho_g V^2 \geq \\ \geq (\rho_z - \rho_g)(1 - \varepsilon)gh \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi + c \end{aligned} \quad (1)$$

Параметры силурийских известняков:

- плотность в естественном залегании – 2,44 т/м<sup>3</sup>;
- объемная влажность увлажненных известняков – 8,3%;
- предел прочности на одноосное сжатие переувлажненных известняков принимается равным 16,25 МПа<sup>6</sup> (по данным 1912 г. – 29,22<sup>7</sup>);
- предел прочности на растяжение – 3,5 МПа [Чувардинский, 1998];

<sup>6</sup> ГОСТ 9479-98. Межгосударственный стандарт. Блоки из горных пород для производства облицовочных, архитектурно-строительных, мемориальных и других изделий. Технические условия (таблица 3)

<sup>7</sup> Палицын Е.А. Озеро Ильмень и река Волхов в связи с проектом шлюзования и использования энергии падения воды. СПб.: Типография Министерства путей и сообщения т-ва И. Н. Кушнерев и К°, 1912. 370 с.

• предел прочности на сдвиг рассчитан по зависимости Мерша [Шашенко, Пустовойтенко, Сдвижкова, 2015]:

$$R_c = 0,5 \sqrt{R_{сжс}; R_{раст}} = 3,8 \text{ МПа};$$

• интенсивность сил сцепления [Нескоромных, 2015] рассчитывается по зависимостям:

$$c = \frac{R_{сжс} (1 - \sin \varphi)}{2 \sin \varphi} \quad c = \frac{R_{раст} (1 + \sin \varphi)}{2 \sin \varphi} \quad c = \sqrt{\frac{R_{сжс}}{R_{раст}} + 1} - 1$$

В результате расчетов, при условии, что для не мерзлых известняков угол внутреннего трения близок к 40 град, сцепление составляет 4,48 МПа или 45,7 кг/см<sup>2</sup>, отношение удерживающего напряжения к сдвигающему составляет 10<sup>-4</sup>, следовательно, размыва быть не может. Тем не менее, абразия имеет место, и ее предельная скорость может достигать по данным [Шуйский, Симеонова, 1976] до 0,01 м/год. Объяснение этому следующее: переувлажненный известняк под механическим и химическим воздействием потока воды в верхнем слое резко теряет прочностные свойства. Поверхностный слой толщиной в несколько миллиметров имеет удельное сцепление всего 0,5-1,2 кг/см<sup>2</sup>. В этом случае, при скоростях потока на отдельных участках в 2,2 м/с и более будет происходить разрушение этого слоя. Подобные скорости наблюдались на порогах в период паводков и половодья.

В общем случае, скорость размыва будет пропорциональна руслообразующему расходу и отношению сдвигающего напряжения к удерживающему (чем это отношение больше, тем больше размыв):

$$\frac{dh}{dt} = k \cdot Q \frac{\tau_{сдв}}{\tau_{уд}}, \quad (2)$$

где  $h$  – размываемый слой, м;

$k$  – коэффициент пропорциональности.

Предполагая, что при высоких берегах выход воды на пойму отсутствует и зависимость между уровнем и расходом квазилинейная, уравнение (2) можно записать в виде

$$\frac{dh}{dt} = k \cdot \frac{BHL}{t} \frac{\tau_{сдв}}{\tau_{уд}} \quad \text{или} \quad \frac{dh}{dt} = k_1 \cdot \frac{H}{t} \frac{\tau_{сдв}}{\tau_{уд}}, \quad (3)$$

где  $B$  – средняя ширина русла, м;  
 $H$  – уровень воды при расходе  $Q$ , м;  
 $L$  – длина порога, м;  
 $t$  – время прохождения мгновенного руслоформирующего расхода воды через порог, с;  
 $k_1 = kBL$ .

Введем переменную  $C$ , обозначающую количество прохождений порогов руслоформирующим расходом за год:

$$C = \frac{T}{t},$$

где  $T$  – количество секунд в году.

В результате получим:

$$h_{год} = k_1 H \ln(C) \frac{\tau_{сов}}{\tau_{год}}.$$

На основании такого качественного подхода можно провести ориентировочную реконструкцию изменения отметок порогов в зависимости от увлаженности климата в предыдущие столетия. Увеличение увлажнения за исторический период ведет к подъему уровня в озере Ильмень, увеличению расхода воды в реке Волхов и ускорению размыва. Оценка той или иной степени увлажнения климата за столетний/тысячелетний период достаточно условна и принималась нами как отношение количества дождливых годов к годам с засухами на основании летописных данных [Борисенков, Пасецкий, 1988].

При расчетах значения уклонов водной поверхности приняты данным 1886 и 1927 гг.<sup>8</sup>, коэффициента шероховатости по данным 1927 г.<sup>9</sup>, длины участка Меньшаковской гряды по данным 1975 г.<sup>10</sup>

<sup>8</sup> *Карта озера Ильменя, истока р. Волхова с устьем р. Мсты, устья р. Ловати с р. Полистью и устья р. Шелони, исследованных Ильменскою и Молого-Мстинскою описными партиями Министерства Путей Сообщения СПб: тип. Ильина, 1886. 59 л.*

*Общий технический отчет Отдела Изысканий Волховского Строительства / Под ред. В.М. Родевича. Л.: Издание Строительства Государственной Волховской Гидроэлектрической Силовой Установки, 1927. 440 с.*

<sup>9</sup> *Общий технический отчет Отдела Изысканий Волховского Строительства / Под ред. В.М. Родевича. Л.: Издание Строительства Государственной Волховской Гидроэлектрической Силовой Установки, 1927. 440 с.*

<sup>10</sup> *Лоция реки Волхов. Ленинград, 1975. 102 с.*

Расчетные значения коэффициента Шези, скорости течения проверены по отчету 1927 г.<sup>11</sup>

Расчетные минимальная и максимальная отметки уровня озера даны на начало периода на основании экстраполяции данных из отчета 1927 г.<sup>12</sup>

Для оценки скоростей размыва Пчевских и Велецких порогов необходимо иметь в виду следующие геологические и геоморфологические особенности.

1. 200-метровый слой силурийских и девонских известняков подстилает 300-метровый слой глин с песчаниками Валдайской серии верхнего протерозоя и балтийская серия нижнего отдела кембрийской системы [Геология СССР, 1971]. Величина изостатического поднятия [Виноградов, Обязов, 2018] для подобного слоя за счет сил упругой деформации могло составить 3-5 м.

2. Максимальные отметки верхней поверхности известняков на линии выхода глинта в районе Пчевских порогов (начальная отметка размыва) – 30 метров. При этом, мы имеем две старицы Волхова у Пчевских порогов: река Оломна – река Лезной – река Точной с отметками старого дна реки по линии Меньшаковской гряды в 18-20 м, а также река Велия – река Витка – река Росох – река Черная – ручей без названия между п.п. Чертково и Леготково – бол. Чистый мох – река Пруссыня с отметками 20-22 м БС. Кроме того, старицу у Велецких порогов: Братовище – река Жубка – река Малый – разъезд 12 километр с отметками 18-20 м БС.

3. Средняя скорость размыва известняков выше расчетной за счет множественных прослоек глины и глинистых сланцев<sup>13</sup>.

Повышение отметок воды в Ильмене за счет строительства плотины не привело к принципиальному изменению уровенного режима озера (таблица 2). Отметки Пчевских порогов достигали высоты гребня плотины Волховской ГЭС в III-V веке н.э. Следовательно, начиная со второй половины первого тысячелетия до наших дней, уровенный режим озера определялся только климатическими особенностями.

<sup>11</sup> *Общий технический отчет Отдела Изысканий Волховского Строительства* / Под ред. В.М. Родевича. Л.: Издание Строительства Государственной Волховской Гидроэлектрической Силовой Установки, 1927. 440 с.

<sup>12</sup> Там же

<sup>13</sup> Там же



Таблица 2. Расчетные отметки порога Меньшаковской гряды Пчевских порогов и уровней озера Ильмень  
 Table 2. Estimated marks of threshold the Menshakovsky ridge of the Pchevsky rapids and the water levels of Lake Ilmen

№ п/п	Глубины и отметки	Лет до нашей эры										Века нашей эры																	
		8000	7000	6000	5000	4000	3000	2000	1000	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX	XX
1	Условная глубина воды в верхнем бьефе порога, м	3,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,2	1,0	0,5	1,0	2,0	2,0	0,3	0,3	2,5	0,2	0,2	1,3	1,0	0,5	0,9	1,3	1,2	1,4	2,1	1,2	2,7	2,3	2,0
2	Отметка порога Меньшаковская гряда, м БС	35,60	29,88	27,01	24,99	22,97	20,95	19,41	18,17	17,61	17,49	17,20	16,91	16,88	16,85	16,10	16,08	16,06	15,89	15,77	15,71	15,62	15,45	15,30	15,11	14,81	14,66	14,25	13,91
3	Максимальная отметка уровня оз. Ильмень, м БС	44,89	39,17	36,3	34,28	32,26	30,24	28,7	27,46	26,9	26,78	26,49	26,2	26,17	26,14	25,39	25,37	25,35	25,18	25,06	25,00	24,91	24,74	24,59	24,4	24,1	23,95	23,54	23,2
4	Минимальная отметка уровня оз. Ильмень, м БС	37,5	31,78	28,9	26,89	24,87	22,85	21,3	20,07	19,5	19,39	19,1	18,8	18,78	18,75	18	17,98	17,96	17,79	17,67	17,61	17,52	17,35	17,2	17,01	16,71	16,56	16,15	15,81

К началу нашей эры уровень порогов был выше на 1 м гребня плотины, что ограничивало минимальный уровень озера на отметках не ниже 19,5 м. Максимальный уровень, учитывая схожесть климата с последними столетиями [Борисенков, Пасецкий, 1988], скорее всего, не превышал отметки в 24,5 м, то есть амплитуда уровней была меньше современной.

В более ранний период уровень озера предположительно менялся более резко. Это связано с увлажнением климата 6-4 тыс. л.н. и значительным уровнем гребня порогов. Кроме того, дискретное изменение уровня озера происходило не только за счет изменения влажности климата, но и по причине особенностей строения силурийских известняков (плитчатая структура)<sup>14</sup>.

Попытаемся провести анализ уровня режима озера по фактическому материалу, имея в виду, что Волховская ГЭС начала свою работу в 1926 г.

### Объективные данные по уровням

Максимальные и минимальные измеренные уровни за весь период наблюдений [Многолетние данные ..., 1986] по уровенным постам, действовавшим в различные годы на оз. Ильмень и на реках Волхов (г. Новгород), Ловать (пос. Взвяд) и Полисть (г. Старая Русса) представлены в таблице 3.

**Таблица 3.** Данные по экстремальным уровням на постах оз. Ильмень (в метрах над уровнем моря БС). Местоположение постов приведено на рисунке 4

**Table 3.** Data of extreme water levels on the observation network of Lake Ilmen (in meters above the sea level of the Baltic system). The location of the observation network is shown on Figure 4

№ п/п	Пост	Максимальный уровень (год)	Минимальный уровень (год)
1	оз. Ильмень-Песчаное	22,70 (1966)	16,17 (1940)
2	оз. Ильмень-Коростынь	22,73 (1966)	16,26 (1945)
3	оз. Ильмень-Ужин	22,79 (1966)	16,17 (1940)
4	оз. Ильмень-Войцы	22,72 (1966)	16,17 (1940)
5	река Волхов-Новгород	22,66 (1966)	15,71 (1940)
6	река Ловать-Взвяд	22,93 (1922)	16,30 (1882)
7	река Полисть-Старая Русса	22,93 (1922)	16,79 (1882)

<sup>14</sup> Палицын Е.А. Озеро Ильмень и река Волхов в связи с проектом шлюзования и использования энергии падения воды. СПб.: Типография Министерства путей и сообщения т-ва И. Н. Кушнерев и К°, 1912. 370 с.

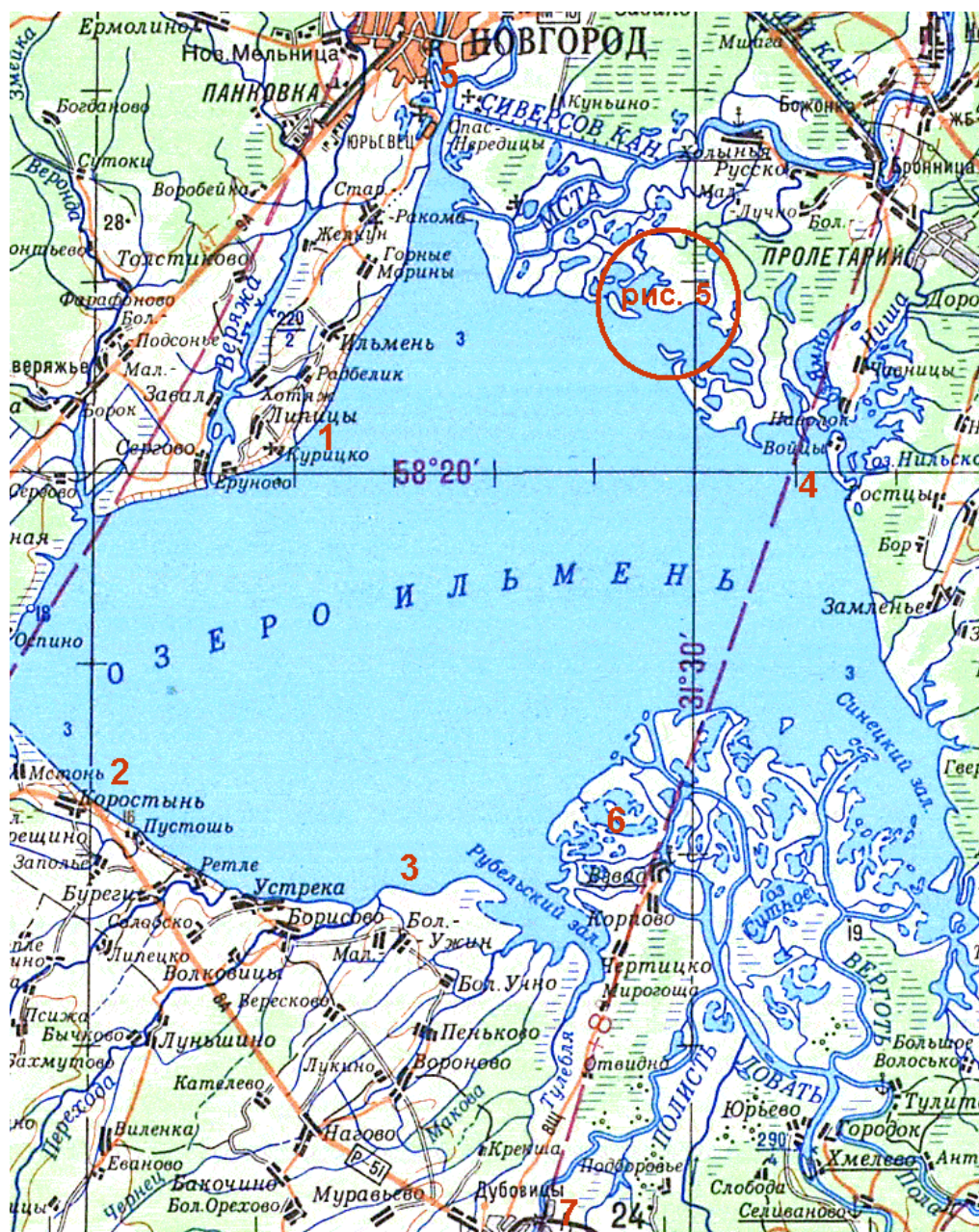


Рисунок 4. Озеро Ильмень и местоположение уровенных постов на нем (таблица 3)<sup>15</sup>

Figure 4. Lake Ilmen and the location of water level observation network on it (table 3)

По данным Молого-Мстинской описной партии (1886 г.) при составлении профиля реки Волхов уровень высоких вод реки Волхов-Новгород в 1885 г. составил 23,91 м, что на 3 м выше данных [Ресурсы поверхностных вод, 1972]. По этим данным максимальный уровень

<sup>15</sup> Топографическая карта: лист О-36-51: масштаб 1:100 000. Генеральный штаб, 1987

реки Волхов-Новгород составил 22,91 в 1922 г., что соответствует данным постов Взвод и Старая Русса за тот же год (таблица 3).

По данным отчета 1927 г.<sup>16</sup> минимальный уровень на посту Волхов-Новгород составил 15,68 м (1882 и 1921 гг.), а в озере за период наблюдений 1881-1926 гг. – 15,81 м, что противоречит данным, представленным в 1912 г.<sup>17</sup>, – 16,79 (1882, 1901, 1908). Максимальный уровень пост Волхов-Новгород – 23,09 (1922 г.) или 23,2 м (1899, 1922) для створа Спас-Пископец<sup>18</sup>.

### Картографические данные

Согласно утвержденным Военно-топографическим управлением Генерального штаба условным знакам<sup>19</sup> отметки урезов соответствуют линии уреза воды в межень озер и линии НПУ водохранилищ.

Оценка уровней на исторических картах может быть произведена привязкой только к определенным фиксированным объектам – церквям, характерным точкам рельефа или гидрографической сети и их отношению к урезу озера при известной отметке. Однако даже при работе с картографическим материалом последнего столетия мы сталкиваемся с известными трудностями. В качестве иллюстрации приводим вырезки одной и той же местности из карт 1937 и 1987 гг. изданий (рисунок 5). Нет сомнений, что уровень озера на второй карте выше. Полуостров между озерами Песчаное и Колодежское стал островом, обводненная площадь резко выросла. Однако, отметки уреза в первом случае 19,0 м, а во втором – 18,1 м! В случае с картой 1987 г. издания верить декларированному урезу не стоит. Урез воды при такой линии берегов озера близок к отметке 19,6 м. Поэтому при реконструкции уровней озера на старых картах, мы пользовались либо данными карт 1928-1937 гг., либо данными космоснимков на дату с известным уровнем озера.

<sup>16</sup> *Общий технический отчет Отдела Изысканий Волховского Строительства* / Под ред. В.М. Родевича. Л.: Издание Строительства Государственной Волховской Гидроэлектрической Силовой Установки, 1927. 440 с.

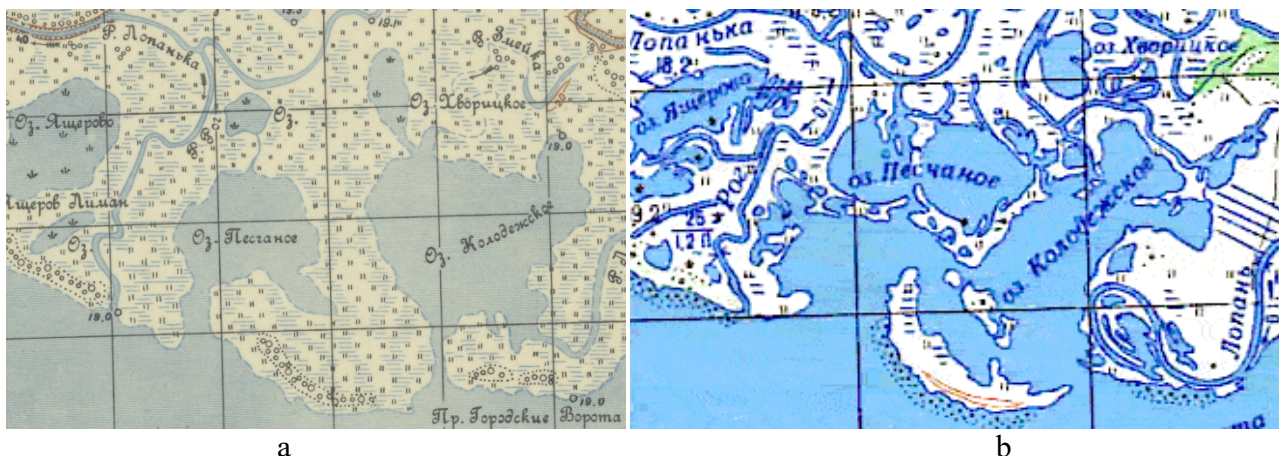
<sup>17</sup> Палицын Е.А. Озеро Ильмень и река Волхов в связи с проектом шлюзования и использования энергии падения воды. СПб.: Типография Министерства путей и сообщения т-ва И. Н. Кушнерев и К°, 1912. 370 с.

<sup>18</sup> Палицын Е.А. Озеро Ильмень и река Волхов в связи с проектом шлюзования и использования энергии падения воды. СПб.: Типография Министерства путей и сообщения т-ва И. Н. Кушнерев и К°, 1912. 370 с.

*Общий технический отчет Отдела Изысканий Волховского Строительства* / Под ред. В.М. Родевича. Л.: Издание Строительства Государственной Волховской Гидроэлектрической Силовой Установки, 1927. 440 с.

<sup>19</sup> Условные знаки для топографических карт масштабов 1:25000, 1:50000, 1:100000. М.: Военно-топографическое управление Генерального штаба, 1983. 118 с.





**Рисунок 5.** Северо-западная часть озера Ильмень на картах 1940<sup>20</sup> (а) и 1987<sup>21</sup> (б) гг.

**Figure 5.** The northwestern part of Lake Ilmen on maps of 1937(a) and 1987 (b)

Уровни после создания Волховской ГЭС:

Карта управления военных топографов 1932 г. – 17,5 м.

Карта ГУ Государственной съёмки и картографии НКВД СССР 1937 г. – урез озера 19,0 м.

Карта Генштаба РККА 1938 г. – 17,2 м. (НПУ 15,74м).

Карты Генштаба СССР 1985-1991 г. (состояние местности 1966-1983, 1982-1988 гг.) – 18,1 м. (НПУ 17,25м)

До создания Волховской ГЭС:

Карта военно-топографического управления 1928 г. издания – урез озера 17,0 м.

Карта 1886/1888 гг., составленная по исследованиям Ильменской и Молого-Мстинской описных партий под руководством гг. с. Жвана и Э. Вилькена, – 17,06 м.

Отметки урезов воды более ранних карт оценены по косвенным данным.

Карта 1870 г., составленная по результатам топографической съёмки 1860-62 гг. и гидрографической съёмки 1819 и 1823 гг. – 18,7 м.

Карта 1732 г. (рисунок 6) – 16,0 м.

Единственная карта, на которой реки Тулебля и Черная (Чернец) впадают в реку Ловать, представлена на рисунке 6. На всех остальных картах обе реки впадают в Тулебельский залив. Однако, анализ космоснимков, особенно сделанных при низком уровне воды в озере (рисунок 7), подтверждает тот факт, что река Тулебля некогда впадала в реку Ловать. В настоящее время нижнее течение реки Тулебля осталось в виде протоки Подборовка.

<sup>20</sup> Карта РККА: лист О-36-51-Г: масштаб 1:50 000, 1940.

<sup>21</sup> Топографическая карта: лист О-36-001: масштаб 1:500 000. Генеральный штаб, 1988

Река Чернец возможно имела продолжение в виде протоки Копанец. Отметки дна старого русла реки Чернец в Тулебльском заливе (по данным промеров 1819, 1823 гг.) – 16,0-16,2 м БС. Старые (затопленные) берега – 16,4-16,6 м. Отметки дна реки Тулебля – 16,2-16,4, берега – 16,6-16,7 м.



**Рисунок 6.** Карта лесов и сплавных рек Старорусского уезда Новгородской губернии 1732 г.<sup>22</sup>

**Figure 6.** Map of forests and rafting rivers of the Starorussky district of Novgorod province in 1732

<sup>22</sup> Карта Старорусского уезда 1732 года [Электронный ресурс] // ЭтоМесто.  
URL: <http://www.etomesto.ru/karta4038/> (дата обращения: 01.12.2019)



**Рисунок 7.** Тулельский залив осенью 2016 г. при уровнях около 16,8 м.

Источник: <http://search.kosmosnimki.ru/?link=P9DRJ>

**Figure 7.** Tulebelsky Bay in autumn 2016 at water levels about 16.8 m

На карте 1886/1888 г. (рисунок 8) при обозначенных отметках 17,06 м Тулельский залив в ширину не превышает 250 м. Русло Тулебля уже идет мимо Подборовки в озеро (рисунок 8). В месте впадения реки Чернец, на снимке 2016 г. при отметках около 16,8, ширина залива в этом месте – более 2,5 км. Почему же при близких отметках озеро так далеко отступило в конце 19 века? Данное противоречие разъясняется просто – береговую линию отбивали при создании топографической основы в 1886 г. – когда меженный летний уровень воды был близок к отметке 16,0 м [Ресурсы поверхностных вод, 1972]. Промеры же глубин с привязкой к урезу 17,06 м проводили в последующие годы.





**Рисунок 8.** оз. Ильмень, Тулебельский залив, на карте 1886 г.<sup>23</sup>

**Figure 8.** Tulebel Bay Lake Ilmen on the map of 1886

На основании этих соображений можно предположить, что уровень озера на период съемки карты 1732 г. составлял около 16,0 м.

Карта 1724 г. – уровень 19,9-20,1 м.

Карта Шуберта (1860-е гг.) – 16,9 м.

Карта 1790 г. – 17,9 м.

Карта генеральный геометрический план 1788 г. – 18,0 м.

Карта 1611 г. – 15,8-16,0 м.

Результаты уровней озера Ильмень сведены в таблицу 4, строка 2. Реконструкция уровней дана с учетом размыва Пчевских порогов и изостатического поднятия котловины озера [Виноградов, Обязов, 2018].

Общий вывод: средний уровень за 17-18 вв. – 17,5 м.

<sup>23</sup> Карта озера Ильменя, истока р. Волхова с устьем р. Мсты, устья р. Ловати с р. Полистью и устья р. Шелони, исследованных Ильменскою и Молого-Мстинскою описными партиями Министерства Путей Сообщения СПб: тип. Ильина, 1886. 59 л.



**Таблица 4.** Отметки уровней озера Ильмень с учетом изостатического поднятия и изменения отметок Пчевских порогов, м БС

**Table 4.** Marks of the water levels of Lake Ilmen, taking into account the isostatic rise and changes in the marks of the Pchevsky rapids, m of the Baltic system

годы	1611	1724	1732	1788	1790	1823	1860	1860/62	1882	1886	1887	1921	1922	1940	1966	2016
отметка	17,2	20,0	16,7	18,0	17,4	18,7	16,9	16,5	15,8	16,0	17,1	15,9	23,2	16,2	22,7	16,8
с учетом изостатического поднятия	16,8	19,8	16,5	17,9	17,3	18,6	16,8	16,4	15,8	16,0	17,1	15,9	23,2	16,2	22,7	16,8

### Геологические и топографические данные об уровненом режиме

Наша временная оценка отступления края Осташковского ледника от истоков реки Ловать 17-15 тыс. л.н. [Hughes et al, 2016; Gorchach, Hang, Kalm, 2017; Rinterkneht et al., 2018; Subetto et.al, 2018; Виноградов, Обязов, Кадацкая, 2019] подтверждается данными [Малаховский, 2001], который вычленил выше г. Великие Луки на реке Ловать не выраженную в рельефе послеледниковую террасу, возраст которой составляет 14-13 тыс. лет, современные отметки около 110 м (**85 м** – далее полужирным в скобках – отметки БС на соответствующий период). У д. Малахово 2 террасы высотой 6 и 12 м от отметки меженного уреза 103,1 м (1927) или 109 и 115 м соответственно (около **85 м**) [Малаховский, 2001]. У д. Леонова озерно-ледниковые отложения мощностью 3-7 м распространены повсеместно на отметках около 80-85 метров (около **60 м БС**). Следовательно, 14 тыс. лет назад река Ловать впадала в Праильмень несколько выше устья реки Вица (д. Дунаево), т.е. истоки рек Полисть, Шелонь, Порусья были еще затоплены [Субетто, 2007].

После деградации Валдайского ледника, уровень Средне-Ловацкого (Привалдайского) приледникового озера [Квасов, 1975] снизился с отметок от 85 [Квасов, 1975; Васильева и др., 2012] м абс. (**60 м**) (около 12,5 тыс. л.н.) до отметок в 60 м (около **40 м**), где на достаточно длительный период стабилизировался [Субетто, 2007; Gorchach, Hang, Kalm, 2017].

Почти по всей долине реки Ловати, Д.Б. Малаховский и Е.Н. Былинский (у последнего рассматриваемая терраса – IV) [Былинский, 1959; Малаховский, 2001] прослеживают террасу с отметками: на участках устье Насвы-Дунаево – 68 м, Дунаево-Холм – 67 м, Холм-Черенчицы

– 58 м ( $\pm 2$  м). С учетом нашей реконструкции, разница в поднятии участков Дунаево-Холм и Холм-Черенчицы составляет 9 м, что позволяет предположить, что речь идет об одном и том же уровне. Абразионные следы по всей южной оконечности оз. Ильмень на отметках 60 м (разница в поднятии с участком Холм-Черенчицы составляет 2 м!) говорят о том, что данная терраса соответствует уровню оз. Ильмень после отступления ледника (на тот период – 40 м БС).

Отметки ледникового озера достаточно длительный период последовательно располагались на уровнях с современными отметками 60 и 40 м, что прослеживается по выраженным абразионным уступам в южной и юго-восточной частях низменности<sup>24</sup>. Однако, вскоре после отступления ледника, современная отметка в 60 м была на 21 м ниже, т.е. на тот период уровень озера не превышал 40 м БС. Озерно-ледниковые отложения верхнего звена Валдайского надгоризонта имеют место до отметок 35-40 м на юго-востоке и 30 м на юго-западе низменности. Западнее эти отложения погребены под слоем более поздних отложений. Ледниковые отложения представлены глинами и тяжелыми валунными трудно размываемыми суглинками, покрывающими 20-метровым слоем всю Приильменскую низменность. По реке Ловать эти отложения начинают прослеживаться от устья реки Близнея от высот 65 м (42 м). У д. Борок на Ловати развиты первая и вторая надпойменные террасы, имеющие соответственно высоты 76 и 80 м (около 60 м).

Выше д. Сопки выделяются еще две цокольные террасы, относительной высотой 13-16 и 24-26 м. Абсолютные отметки террас – около 60 и 72 м (42 и 55 м). В [Былинский, 1959] выделяется четвертую террасу от пос. Малых Куниц до пос. Бабынино. Ее отметка на всем протяжении составляет около 72 м (55 м). У пос. Рахлиц верхняя цокольная терраса [Малаховский, 2001] достигает высоты 55 м (около 38 м), а по [Былинский, 1959], ее высота не превышает 47 м (31-32 м). В районе д. Рамушево выклинивается первая надпойменная терраса, ее разрез был изучен [Малаховский, 2001] у д. Черенчица, где она имеет высоту около 25-27 м (20-22 м, 4-5 тыс. л.н.). Этот уровень поддерживался в озере достаточно длительный период, как уже указывалось выше, отметки абразионных уступов (около 40 м) соответствуют уровню озера в 22-24 м 9-10 тыс. л.н. В описании реки отметка 25,5 м (те же 20-22 м, 4-5 тыс. л.н.).

---

<sup>24</sup> Карта четвертичных отложений: О-36-XX (Старая Руса). Ильменская серия, масштаб: 1:200000, серия: Ильменская / редактор: К.Э. Якобсон. Северо-Западное производственное геологическое объединение, 1988.

Особую трудность (в силу наличия дополнительной информации) вызывает реконструкция уровней озера Ильмень последние столетия. Базис эрозии для всех рек, впадающих в озеро — это его средний уровень. Следовательно, его уровень — это отметка, ниже которой впадающие в озеро реки не могут углубить своё русло. Однако, отметки дна рек, впадающих в оз. Ильмень ниже не только среднего уровня, но и отметок дна озера. Причем минимальная отметка дна озера — 13,3 м, а минимальные отметки дна рек, впадающих в Ильмень следующие: реки Ловати (таблица 5) — 8,2 м (до конца устьевое участка реки по картам 1886 года 4 км<sup>25</sup>), реки Мсты — 8,2 (6 км), реки Шелони — 12,0 (7 км). На основании этого можно сделать предварительный вывод, что уровень озера Ильмень в прошлом был ниже, нежели в настоящее время и составлял современные 16-17 м БС. Анализ климатической ситуации в 14-18 веках говорит о сплошной череде холодных зим и летних засух. Этот факт подтверждается ростом приустьевое бара за последние 200 лет на 1,3 метра (при средних глубинах 2-2,5 м).

**Таблица 5.** Минимальные отметки дна реки Ловать по данным различных гидрографических съемок, м БС

**Table 5.** The minimum bottom marks of the river Lovat' according to various hydrographic surveys, m of Baltic system

годы	отметка уреза озера	отметка дна в месте бифуркации Старой и Новой Ловати	отметка дна в месте слияния Старой и Новой Ловати	отметка дна приустьевое бара
1823	18,70	12,10	8,20	15,65
1886	17,07	10,51	7,25	16,01
1887	17,07	10,43	7,08	16,62
1990	18,00			16,80

Отметки уровня озера на 1823 г. рассчитывались на основании морских описей 1819-1823 гг., путем обратного пересчета из средних глубин озера на 1886 г. по десяти створам. Точность пересчета  $\pm 0,05$  м.

Река Мста. После соединения с рекой Волхов Сиверсовым каналом глубины составили 4-4,5 м, максимальная — 8,9 м. После бифуркации с рекой Большой Гнилкой —

<sup>25</sup> Карта озера Ильменя, истока р. Волхова с устьем р. Мсты, устья р. Ловати с р. Полистью и устья р. Шелони, исследованных Ильменскою и Молого-Мстинскою описными партиями Министерства Путей Сообщения СПб: тип. Ильина, 1886. 59 л.

глубины реки Мсты 1,5-2 м, реки Б. Гнилки – 1-1,5 м. На 1820 г. отметки бара – 16,75 м, на 1886 – 16,4 м, на 1990 – 17,0 м.

Река Шелонь. На 1886 г. перед устьевой бифуркацией, глубины составляли 5 м, а основного (правого) рукава – 2-2,5 м. На 1820 г. глубины правого рукава достигли 3-3,5 м. На 1820 г. отметки бара – 15,9 м, на 1886 – 16,5 м, на 1990 – 17,0 м.

Река Волхов. Данные об отметках дна приведены в таблице 6. Отметка Ладожского (Петропавловского) порога – 13,44 м. Отметка УВВ (уровня высоких вод) (половодье 1885 г.) на пороге – 17,30. Средние глубины реки в пределах города – около 4 м.

**Таблица 6.** Минимальные отметки дна реки Волхов по данным различных гидрографических съемок, м БС

**Table 6.** The minimum bottom marks of the river Volkhov according to various hydrographic surveys, m of Baltic system

Волхов	отметка озера	отметка в створе Троица	отметка в створе Мал. Волховец	отметка в створе церкви Бориса и Глеба	отметка в створе монастыря Антония Римлянина
1823	18,70	15,45	13,35	14,55	14,55
1862	18,60	-	14,70	14,70	14,40
1887	17,07	15,53	14,17	12,80	13,44
1975	18,75	16,05	15,45	14,35	14,55

Подъем отметок порога при входе в Волхов за 150 лет на 0,6 м подтверждает тот факт, что ранее уровень озера Ильмень был ниже. Наконец, главный тезис в пользу повышения уровня озера в последние столетия. В морских описях 1819-1823 гг. просматриваются русловые врезы рек Шелонь и Ловать, т.е. баром они еще не полностью перекрыты.

## Выводы

Средний уровень озера Ильмень последние столетия (17-19 вв.) был несколько меньшим подпорного современного, несмотря на превышение отметок Волховских порогов над современным уровнем на 0,5-1,0 м.

Отметки Пчевских и Велецких порогов в последние 10 тыс. лет опустились за счет размыва ориентировочно на 21 м.



Последние 5 тыс. лет средний уровень оз. Ильмень достаточно стабилен и колеблется в пределах 20-24 м БС.

### Литература

Барышников Н.Б., Попов И.В. Динамика русловых потоков и русловые процессы: учебное пособие. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 454 с.

Борисенков Е.П., Пасецкий В.М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М.: Мысль, 1988. 522 с.

Былинский Е.Н. Влияние снижения уровней Ильменского и Ладожского озера на развитие продольных профилей притоков оз. Ильмень и Волхова // Вестн. Моск. ун-та: Сер. биологии, почвоведения, геологии, географии. 1959. № 3. С. 221-231

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. С. 141-150.

Виноградов А.Ю., Обязов В.А. Гляциоизостатическое поднятие Приильменской низменности в голоцене // Сборник научных трудов XXIV

### References

Baryshnikov N.B., Popov I.V. *Dinamika ruslovykh potokov i ruslovyye protsessy: uchebnoe posobie [Dynamics of streams and fluviomorphological processes in rivers: text-book]*. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1988. 454 p. (In Russian; abstract in English).

Borisenkov E.P., Pasetskii V.M. *Tysyacheletnyaya letopis' neobychainykh yavlenii prirody [The thousand-year chronicle of extraordinary natural phenomena]*. Moscow, Publ. Mysl', 1988. 522 p. (In Russian).

Bylinskii E.N. Vliyanie snizheniya urovnei Il'menskogo i Ladozhskogo ozera na razvitie prodol'nykh profilei pritokov oz. Il'men' i Volkhova [The impact of lower levels of Lake Ilmensky and Ladoga on the development of longitudinal profiles of tributaries of Lake Ilmen and Volkhova]. *Vestnik Moskovskogo universiteta: Seriya biologii, pochvovedeniya, geologii, geografii [Moscow University Bulletin: Series of Biology, Soil Science, Geology, Geography]*. 1959, No. 3, pp. 221-231. (In Russian).

Chuvardinskii V.G. *O lednikovoi teorii. Proiskhozhdenie obrazovaniya lednikovoi formatsii [About glacial theory. The origin of the formations of the glacial formation]*. Apatity, 1998. 303 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*

Международной научно-практической конференции «Научные исследования: ключевые проблемы III тысячелетия» (Москва, 01-02 апреля 2018 г.). М.: Проблемы науки, 2018. С. 99-102.

Виноградов А.Ю., Обязов В.А., Кадацкая М.М. История формирования рек Южного Приильменья в голоцене // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2019. Т. 1. Вып. 1. С. 90-113.

DOI: [10.34753/HS.2019.1.1.001](https://doi.org/10.34753/HS.2019.1.1.001)

Виноградов Ю.Б. Этюды о селевых потоках. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 143 с.

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.

Гришанин К.В. Динамика русловых потоков. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 428 с.

Зубов В.Г. Механика. М.: Наука, 1978. 352 с.

Квасов Д.Д. Позднечетвертичная история крупных озер и внутренних морей Восточной Европы. Л.: Наука, 1975. 279 с.

Novgorod regions. Geological description. Northwest Territorial] / A.V. Sidorenko (ed.). Moscow, Publ. Nedra, 1971. 504 p. (In Russian).

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).

Grishanin K.V. *Dinamika ruslovykh potokov [The dynamics of channel flows]*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1969. 428 p. (In Russian).

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).

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, Publ. Nauka, 1975. 279 p. (In Russian).

Malakhovskii D.B. Geomorfologicheskie i geologicheskie nablyudeniya v doline r. Lovat' [Geomorphological and geological observations in the valley of the Lovat river]. *Izvestiya Russkogo Geograficheskogo obshchestva [Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva]*, 2001, vol. 133, iss. 2, pp. 32-38. (In Russian).

*Mnogoletnie dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushni: v 15 t. T. 1. RSFSR: v 26 vyp. Vyp. 5. Basseiny rek Baltiiskogo morya, Ladozhskogo i Onezhskogo ozer [Long-term data on the regime and resources of land surface water: in 15 volumes. Volume 1. RSFSR:*

- Малаховский Д.Б. Геоморфологические и геологические наблюдения в долине реки Ловать // Известия Русского Географического общества. 2001. Т. 133. Вып. 2. С. 32-38
- Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши: в 15 т. Т. 1. РСФСР: в 26 вып. Вып. 5. Бассейны рек Балтийского моря, Ладожского и Онежского озер. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 689 с.
- Нескоромных В.В. Разрушение горных пород при проведении геологоразведочных работ: учебное пособие. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2016. 392 с. DOI: [10.12737/11719](https://doi.org/10.12737/11719)
- Петров А.Г., Потанов И.И. Перенос наносов под действием нормальных и касательных придонных напряжений с учетом уклона дна // Прикладная механика и техническая физика. 2014. т. 55. № 5 (327). С. 100-105.
- Ресурсы поверхностных вод: в 20 т. Т. 2. Карелия и Северо-Запад: в 2 ч. Ч. 2. Приложения / Под ред. В.Е. Водогрецкого. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 278 с.
- Субетто Д.А. История формирования Ладожского озера и его соединения с Балтийским морем // Общество. Среда. Развитие (Terra in 26 issue. Issue 5. River basins of the Baltic Sea, Ladoga and Onega Lakes]. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1986. 689 p. (In Russian).
- Neskoromnykh V.V. *Razrushenie gornyykh porod pri provedenii geologorazvedochnykh rabot: uchebnoe posobie [Destruction of rocks during exploration: a training manual]*. Moscow, Publ. SPC INFRA-M, 2016, 392 p. (In Russian). DOI: [10.12737/11719](https://doi.org/10.12737/11719)
- Petrov A.G., Potapov I.I. Sediment transport under normal and tangential bottom stresses with the bottom slope taken into account. *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*, 2014, vol. 55, iss. 5, pp. 812-817. DOI: [10.1134/S0021894414050101](https://doi.org/10.1134/S0021894414050101)
- Resursy poverkhnostnykh vod SSSR: v 20 vol. Vol.2: Kareliya i Severo-Zapad: v 2 ch. Chast' 2. Prilozheniya. [Surface water resources of the USSR: in 20 vol. Vol. 2: Karelia and North-West: in Two parts. Part 2. Applications]*. Ed. Vodogretskiy V.E. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1972. 278 p. (In Russian).
- 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 <sup>10</sup>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)
- Shashenko O.M., Pustovoitenko V.P., Sdvizhkova O.O. *Geomekhanika: uchebnik [Geomechanics: textbook]*. Kiev, Publ. State Higher Educational Institution National Mining University, 2015. 563 p. (In Russian).

Humana). 2007, № 1 (2). С. 111-120.

Чувардинский В.Г. О ледниковой теории. Происхождение образований ледниковой формации. Апатиты, 1998. 303 с.

Шашенко О.М., Пустовойтенко В.П., Сдвижкова О.О. Геомеханика: учебник. К.: ГВУЗ Национальный горный университет, 2015. 563 с.

Шуйский Ю.Д., Симеонова Г. О влиянии геологического строения морских берегов на процессы абразии // Докл. Болг. АН. 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. P. 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. P. 1-45. DOI: [10.1111/bor.12142](https://doi.org/10.1111/bor.12142).

Rinterknecht V., Hang T., Gorlach A., Kohv M., Kalla K., Kalm V., Subetto D., Bourlès D., Léanni L., Guillou V. The Last Glacial Maximum

Shuiskii Yu.D., Simeonova G.A. O vliyaniy geologicheskogo stroeniya morskikh beregov na protsessy abraziy [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)

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 Humana)], 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).

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 imeni 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*



- extent of the Scandinavian Ice Sheet in the Valdai Heights, western Russia: Evidence from cosmogenic surface exposure dating using  $^{10}\text{Be}$  // *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)
- 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)
- 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).
- Vinogradov A.Yu., Obyazov V.A., Kadatskaya M.M. Istoriya formirovaniya rek Yuzhnogo Priil'men'ya v golotsene [History of formation of the rivers of south Prilimenium in holotsen]. *Gidrosfera. Opasnye protsessy i yavleniya [Hydrosphere. Hazard processes and phenomena]*, 2019, vol. 1, iss. 1, pp. 90-113 (In Russian; abstract in English). DOI: [10.34753/HS.2019.1.1.001](https://doi.org/10.34753/HS.2019.1.1.001)
- Vinogradov Yu.B. *Etyudy o selevykh potokakh [Etudes about mud stream]*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1980. 144 p. (In Russian).
- Zubov V.G. *Mekhanika [Mechanics]*. Moscow, Publ. Nauka, 1978. 352 p. (In Russian).