

Lake level dynamics in the centre of the East European Plain during the Holocene

Short communicationLIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGY

Konstantinov E.A.* , Karpukhina N.V., Zakharov A.L., Rudinskaya A.I.,
Ukrainsev V.Yu., Samus A.V., Lazukova L.I.

Institute of Geography RAS, 29 building 4 Staromonetny lane, Moscow, 119017, Russia

ABSTRACT. Based on the lithostratigraphic and geomorphological approach, the study of lake level fluctuations in Nero and Seliger over the past 15,000 years was conducted. Common features of level changes were revealed: deep regression at the end of the late glacial period and early Holocene, intensive rise in level in the early-middle Holocene, stabilization (with a slight upward trend) in the late Holocene. Similar features in level changes were revealed in the history of a number of lakes in Germany and Scandinavia. A connection was found between lake level fluctuations and the intensity of fluvial processes in the center of the East European Plain.

Keywords: lake level history, Holocene, paleolimnology, radiocarbon dating, river runoff

For citation: Konstantinov E.A., Karpukhina N.V., Zakharov A.L., Rudinskaya A.I., Ukrainsev V.Yu., Samus A.V., Lazukova L.I. Lake level dynamics in the centre of the East European Plain during the Holocene // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - P. 428-433. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-428

1. Introduction

Lake level variations reflect the hydroclimatic dynamics of the late Quaternary. A direct connection with climate is manifested in endorheic lakes of semi-arid and arid zones, where the lake level is determined only by the balance of precipitation and evaporation. In a humid climate, where there is an excess of precipitation, the vast majority of lakes are flowing, i.e. they have a runoff. In such lakes, the position of the water surface is determined, first of all, by the height of the runoff threshold. Here, the connection between the level and the climate is not so direct. The influence of climate is transformed by landscape, hydrological and geomorphological factors.

The article presents the results of a study of the dynamics of the lakes of the upper Volga basin: Nero (Yaroslavl region) and Seliger (Tver region). A comparison is made with the history of the level of runoff lakes in Central and Northern Europe. A mechanism for changing the level of alluvial-dammed lakes in the center of the East European Plain is proposed.

2. Materials and methods

Lake Seliger is a system of 24 semi-isolated bays (the so-called reaches), forming a cross in plan. The

length of the lake from north to south is 60 km, from west to east - 35 km. The lake has an area of 212 km², an average depth of 5.8 m and a maximum of 24 m. The catchment area of the lake is 2310 km². A normal level of the lake is 205.48 m. The amplitude of level fluctuations recorded during the observation period is 206 cm. In the annual course of the level, two peaks are observed - spring and autumn, which are comparable in their volumes. Seliger has more than 100 tributaries. The largest tributaries are the Krapivenka, Soroga and Seremukha rivers. The Selizharovka River flows out of Lake Seliger, which flows into the Volga near the urban-type settlement of Selizharovo.

Lake Nero, the largest lake in the Yaroslavl Volga region, is located in the southern part of the Rostov Basin. The area of the water surface (58 km²) is only about 8% of the total area of the Rostov Basin. The lake is stretched from southwest to northeast, has a pear-shaped form - with a narrow northern and widened southern part. Lake Nero is a flowing reservoir. The Sara River and about 20 other small rivers and streams flow into it: Vorzhenka, Voksitsa, Sulost, Seletskaya, Vorobylovskaya, Glubokaya, Serebryanka, Vanoga, Mazikha, Ishnya, Kuchibozh, etc. The Veksa River flows out of the lake, which, after merging with the Ustye River, gives rise to the Kotorosl River. The length of the lake is 13.2 km, the maximum width is 8.3 km,

*Corresponding author.

E-mail address: eakonst@igras.ru (E.A. Konstantinov)

Received: June 10, 2024; **Accepted:** June 28, 2024;

Available online: August 26, 2024

© Author(s) 2024. This work is distributed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.



the average depth is 1.6 m, the maximum depth is 4.7 m (Bikbulatov et al., 2003). Before the construction of the artificial dam on the Veksa River, the average long-term water level was 93.75. In average water years, the amplitude of water level fluctuations is 1.2–1.3 m. In low-water years with little precipitation, the amplitude could reach 3 m (Bikbulatov et al., 2003). During the observation period, the maximum water level was recorded at 96.37 m, the minimum at 93.09 m.

The structure of the bottom sediments of the lakes was studied using manual drilling with a modified Livingstone piston drill and ground penetrating radar profiling. Drilling profiles were laid across the underwater coastal slope – from the shore to the deep-water part. In Seliger, two stretches of water bodies were also studied, resembling flooded parts of river valleys in morphology. A total of 9 cores were obtained for Lake Seliger and 12 cores for Lake Nero.

Radiocarbon dating, loss on ignition, particle size distribution, diatom analysis and pollen analysis were performed from the cores of the reference boreholes. The structure of the coastal sediments was investigated using hand drilling. The reconstruction of the level change curve is based on the analysis of the age and altitude of the stratigraphic unconformities on the borehole profiles, which mark the declines in the level and erosion of the bottom sediments. Additional information on the sedimentation environments was obtained from the analysis of the lithological composition of the sediments and the results of paleobotanical studies.

3. Results

Seliger. Drilling showed that in the southern bays of Seliger, lake silts several meters thick are underlain by coarse-grained sands, most likely of river origin. This is evidenced by the characteristic asymmetric profile of the bottom in the supposed areas of ancient river bends and the time of transition from active runoff to stagnant conditions of the reservoir – starting from 14.5 thousand years ago: at that time, the edge of the glacier was already far away and meltwater from the glacier did not penetrate this territory. It has been shown that the flooding of areas of river valleys and their transformation into lake reaches was caused by the damming of the Selizharovka River, which originally flowed out of Lake Seliger in the Ostashkov area. About 14.5 thousand years ago, the Selizharovka began to be dammed by the intensively growing internal delta of its left tributary, the Krapivenka River. The water level in the lake rose in the Late Glacial and Holocene and was about 7–8 m. The maximum rate of lake level growth occurred in the Late Glacial and Early Holocene.

Nero. A deep regression of the lake level in Nero was established in the Late Glacial and Early Holocene. Stratigraphic unconformities in the sediments record a stage of low water level (below 87 m abs.) in the interval from 14.7 to 10.0 thousand years ago. The lake decreased in size several times, and the reservoir was preserved only in the axial, deepest part of the basin. A large transgressive phase was recorded at the end of the

Boreal and Atlantic period of the Holocene, from 9.0 to 6.5 thousand years ago. The lake level reached 91–94 m abs., which is close to modern values. The average long-term lake level in the Holocene did not rise above 94.2 m. In the interval 6.5–2.4 thousand years ago, weak regressive phases were established in the dynamics of the average long-term level. The lake level was approximately 1–3 m lower than today. Beginning 2.4 thousand years ago, the level of Lake Nero slowly increased, reaching modern state approximately 300–500 years ago.

4. Discussion and conclusions

According to the most common concepts, the level of lakes in the central VER is directly related to the degree of climate humidity: more arid stages correspond to a low level, and more humid stages to a high level (Harrison et al., 1996; Wohlfarth et al., 2006). However, the above results on the history of lakes Nero and Seliger cannot be explained solely by changes in climate humidity. Changes in lake levels are in poor agreement with the course of precipitation changes. Similar trends in levels have been established for a number of lakes in northeastern Germany and Sweden (Theuerkauf et al., 2022; Digerfeldt et al., 2013): deep regression at the end of the late glacial and early Holocene, an intense rise in level in the early-middle Holocene, stabilization (with a slight upward trend) in the late Holocene.

The probable cause of the level fluctuations should be sought in the change in the height of the runoff threshold, which determines the level in the runoff lakes of the humid zone. The analysis of the relief and structure of sediments in the areas of runoff from Lakes Nero and Seliger (the Veksa and Selizharovka rivers, respectively) shows that the height of the runoff threshold is controlled, first of all, by alluvial accumulation (or erosion) in the channels of large side tributaries – the Ustye-Kotorosl and Krapivenka rivers. The internal deltas of these rivers form an alluvial dam that maintains the current relatively high level of the lakes. Thus, the channel system of Ustye-Kotorosl at the confluence of the Veksa is in the mode of intensive accumulation and growth of the bottom height, as evidenced by the extremely frequent meandering and the embanked nature of the channels. Before the construction of the dam in Belogostitsy, during large floods on Ustye-Kotorosl, even reverse slopes along the Veksa were noted (Bikbulatov et al., 2003), which led to counterflow of water and floods on Lake Nero. All this points to a direct dependence of the Nero level on the erosion-accumulative regime in the Ustye-Kotorosl river system. The curves of the Nero and Seliger lake levels (Konstantinov et al., 2021; Konstantinov et al., 2023) reveal a close relationship with the diagram of the intensity of fluvial processes (Panin and Matlakhova, 2015). A major regression of lakes in the late glacial and early Holocene was caused by extremely high water discharges and deep incision of river channels in the region. This resulted in a significant drop in the height of the lake runoff threshold. Thus, Lake Nero

actually did not exist in the early Holocene; it looked like a small lake-like expansion at the confluence of the Sara and Ishnya rivers. The increase in the lake level in the Atlantic period coincides with the minimum river runoff in the Holocene, which created the prerequisites for intensive alluvial accumulation in sections of channels with low slopes of the longitudinal profile. This led to the creation of alluvial dams that dammed the lower reaches of the Sara and Ishnya rivers (in the case of Nero) and Selizharovka (in the case of Seliger). Further stabilization of the lake level with a slight upward trend is consistent with a decrease in the amplitude of fluvial dynamics. Since the identified mechanism of lake level fluctuations has a regional determinacy, lakes with a similar history are probably quite widespread in central and eastern Europe.

Acknowledgements

The work was funded by the state assignment FMVS-2024-0003 “Reconstruction of natural events of the past on the territory of Russia based on the study of sedimentary paleoarchives”.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Bikbulatov E.S., Bikbulatova E.M., Litvinov A.S. et al. 2003. Hydrology and hydrochemistry of Lake Nero. (In Russian)
- Digerfeldt G., Björck S., Hammarlund D. et al. 2013. Reconstruction of Holocene lake-level changes in Lake Igelsjön, southern Sweden. *GFF* 135(2): 162-170. DOI: [10.1080/11035897.2013.799514](https://doi.org/10.1080/11035897.2013.799514)
- Harrison S.P., Yu G.E., Tarasov P.E. 1996. Late Quaternary lake-level record from northern Eurasia. *Quaternary research* 45(2): 138-159. DOI: [10.1006/qres.1996.0016](https://doi.org/10.1006/qres.1996.0016)
- Konstantinov E.A., Karpushina N.V., Zakharov A.L. et al. 2023. Fluctuations in the level of Lake Nero during the Holocene. *Geomorphologia and paleogeographia* 54(2): 51-60. DOI: [10.31857/S2949178923020044](https://doi.org/10.31857/S2949178923020044). (In Russian)
- Konstantinov E.A., Panin A.V., Karpushina N.V. et al. 2021. The fluvial past of Lake Seliger. *Water Resources* 48(5): 481-491. DOI: [10.31857/S0321059621050114](https://doi.org/10.31857/S0321059621050114). (In Russian)
- Panin A., Matlakhova E. 2015. Fluvial chronology in the East European Plain over the last 20 ka and its palaeohydrological implications. *Catena* 130: 46-61. DOI: [10.1016/j.catena.2014.08.016](https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.08.016)
- Theuerkauf M., Blume T., Brauer A. et al. 2022. Holocene lake-level evolution of Lake Tiefer See, NE Germany, caused by climate and land cover changes. *Boreas* 51(2): 299-316. DOI: [10.1111/bor.12561](https://doi.org/10.1111/bor.12561)
- Wohlfarth B., Tarasov P., Bennike O. et al. 2006. Late glacial and Holocene palaeoenvironmental changes in the Rostov-Yaroslavl'area, West Central Russia. *Journal of Paleolimnology* 35: 543-569. DOI: [10.1007/s10933-005-3240-4](https://doi.org/10.1007/s10933-005-3240-4)

Динамика уровня озер центра Восточно-Европейской равнины в голоцене

Краткое сообщение

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGY

Константинов Е.А.*, Карпухина Н.В., Захаров А.Л., Рудинская А.И.,
Украинцев В.Ю., Самусь А.В., Лазукова Л.И.

Институт географии РАН, Старомонетный пер., д. 29, стр. 4, г. Москва, 119017, Россия

АННОТАЦИЯ. На основе литостратиграфического и геоморфологического подхода проведено исследование колебаний уровня озер Неро и Селигер за последние 15000 лет. Выявлены общие черты изменения уровня: глубокая регрессия в конце позднеледниковья и раннем голоцене, интенсивный подъем уровня в раннем-среднем голоцене, стабилизация (с небольшим трендом на повышение) в позднем голоцене. Сходные черты в изменении уровня выявлены в истории ряда озер Германии и Скандинавии. Обнаружена связь между колебаниями уровня озер и интенсивностью флювиальных процессов в центре Восточно-Европейской равнины.

Ключевые слова: история уровня озера, голоцен, палеолимнология, радиоуглеродное датирование, речной сток

Для цитирования: Константинов Е.А., Карпухина Н.В., Захаров А.Л., Рудинская А.И., Украинцев В.Ю., Самусь А.В., Лазукова Л.И. Динамика уровня озер центра Восточно-Европейской равнины в голоцене // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - С. 428-433. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-428

1. Введение

Колебания уровня озер отражают гидроклиматическую динамику конца четвертичного периода. Напрямую связь с климатом проявляется в бессточных озерах семиаридных и аридных зон, где уровень озер определяется только балансом осадков и испарения. В гумидном климате, где имеется избыток осадков, подавляющее большинство озер проточные – т.е. они обладают стоком. В таких озерах положение водной поверхности определяется, прежде всего, высотой порога стока. Здесь связь уровня с климатом не такая прямая. Влияние климата трансформируется ландшафтными, гидрологическими и геоморфологическими факторами.

В статье представлены результаты исследования динамики уровня озер бассейна верхней Волги: Неро (Ярославская область) и Селигер (Тверская область). Проведено сопоставление с историей уровня сточных озер Центральной и Северной Европы. Предложен механизм изменения уровня аллювиально-подпрудных озер Центра Восточно-Европейской равнины (ВЕР).

2. Материалы и методы

Озеро Селигер представляет собой систему из 24 полуизолированных заливов (так называемых плесов), образующих в плане форму креста. Протяженность озера с севера на юг – 60 км, с запада на восток – 35 км. Озеро имеет площадь 212 км², среднюю глубину 5.8 м и максимальную 24 м. Площадь водосбора озера составляет 2310 км². Нормальный уровень озера составляет 205.48 м. Зафиксированная за период наблюдений амплитуда колебаний уровня составляет 206 см. В годовом ходе уровня наблюдается два пика – весенний и осенний, которые сопоставимы по своим объемам. Селигер имеет более 100 притоков. Самые крупные притоки - реки Крапивенка, Сорога и Серемуха. Вытекает из озера Селигер река Селижаровка, которая в районе п.г.т. Селижарово впадает в Волгу.

В южной части Ростовской котловины расположено озеро Неро – крупнейшее озеро Ярославского Поволжья. Площадь водного зеркала (58 км²) составляет лишь около 8 % от общей площади Ростовской котловины. Озеро вытянуто с

*Автор для переписки.

Адрес e-mail: eakonst@igras.ru (Е.А. Константинов)

Поступила: 10 июня 2024; Принята: 28 июня 2024;

Опубликована online: 26 августа 2024

© Автор(ы) 2024. Эта работа распространяется под международной лицензией Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0.



юго-запада на северо-восток, имеет грушевидную форму - с узкой северной и расширенной южной частью. Озеро Неро - проточный водоем. В него впадает река Сара и еще около 20 небольших речек и ручьев (Ворженка, Воксица, Сулость, Селецкая, Воробыловская, Глубокая, Серебрянка, Ванога, Мазиха, Ишня, Кучибожь и др.). Вытекает из озера р. Векса, которая после слияния с р. Устье дает начало р. Которосль. Длина озера - 13.2 км, максимальная ширина - 8.3 км, средняя глубина - 1.6 м, максимальная глубина - 4.7 м (Бикбулатов и др., 2003). До строительства гидроузла на р. Векса среднепогодный уровень составлял - 93.75. В средние по водности годы амплитуда колебания уровня составляет 1.2-1.3 м. В маловодные годы при малом количестве осадков амплитуда могла достигать 3 м (Бикбулатов и др., 2003). За период наблюдений максимальный уровень зафиксирован на отметке 96.37 м, минимальный - 93.09 м.

Строение донных отложений озер было исследовано при помощи ручного бурения модифицированным поршневым буром Ливингстона и георадарного профилирования. Буровые профили закладывались поперек подводного берегового склона - от берега к глубоководной части. В Селигере также исследовано два участка плесов, напоминающих по морфологии затопленные части речных долин. В общей сложности для озера Селигер получено 9 кернов, для озера Неро 12 кернов. Для образцов из кернов опорных скважин выполнялось радиоуглеродное датирование, определение потерь при прокаливании, гранулометрического состава, диатомовый и спорово-пыльцевой анализы. При помощи ручного бурения исследовано строение отложений побережья. Реконструкция кривой изменения уровня опирается на анализ возраста и высоты стратиграфических несогласий на буровых профилях, которые маркируют снижения уровня и размыва донных отложений. Дополнительные сведения об обстановках осадконакопления были получены из анализа литологического состава осадков и результатов палеоботанических исследований.

3. Результаты

Селигер. В результате бурения установлено, что на извилистых участках южных селигерских плесов озерные илы мощностью в первые метры подстилаются крупными песками, имеющими, скорее всего, речное происхождение. В пользу этого говорит характерный асимметричный профиль дна на предполагаемых участках древних речных излучин и время перехода от активного стока к режиму стоячего водоема - начиная с 14.5 тыс. л. н.: в это время край ледника располагался уже далеко и талые ледниковые воды на эту территорию не проникали. Показано, что подтопление участков речных долин и их превращение в озерные плесы было вызвано подпруживанием р. Селижаровки, изначально вытекавшей из оз. Селигер в районе г. Осташкова. Около 14.5 тыс. л. н. Селижаровка начала подпруживаться интенсивно растущей внутренней дельтой своего

левого притока, р. Крапивенки. Подъем уровня воды в озере происходил на протяжении позднеледниковья и голоцена и составил суммарно около 7-8 м. Максимальные скорости роста уровня озера пришлись на позднеледниковье и начало голоцена.

Неро. Установлена глубокая регрессия уровня озера Неро в позднеледниковье и начале голоцена. Стратиграфические несогласия в осадках фиксируют этап низкого положения уровня (ниже 87 м абс.) в интервале от 14.7 до 10.0 тыс.л.н. Озеро сокращалось в размерах в несколько раз, водоем сохранялся только в осевой наиболее глубокой части котловины. Крупная трансгрессивная фаза зафиксирована в конце бореального и в атлантическом периоде голоцена - с 9.0 до 6.5 тыс.л.н. Уровень озера достигал отметок 91-94 м абс., что близко к современным значениям. Выше отметки 94.2 м средний многолетний уровень озера в голоцене не поднимался. В интервале 6.5-2.4 т.л.н. установлены слабые регрессивные фазы в динамике среднего многолетнего уровня. Уровень озера был ниже современного примерно на 1-3 м. Начиная с 2.4 т.л.н. уровень озера Неро медленно повышался, достигнув современных отметок примерно 300-500 л.н.

4. Обсуждение и заключение

Согласно наиболее распространенным представлениям, уровень озер в центральной части ВЕР напрямую связан со степенью увлажнения климата: более засушливые стадии соответствуют низкому уровню, а более влажные - высокому (Harrison et al., 1996; Wohlfarth et al., 2006). Однако приведенные выше результаты по истории озер Неро и Селигер нельзя объяснить исключительно изменениями влажности климата. Изменения уровней озер плохо согласуются с ходом изменений осадков. Аналогичные тенденции изменения уровней установлены для ряда озер северо-восточной Германии и Швеции (Theuerkauf et al., 2022; Digerfeldt et al., 2013): глубокая регрессия в конце позднеледниковья и начале голоцена, интенсивный подъем уровня в середине голоцена, стабилизация (с небольшим восходящим трендом) в позднем голоцене.

Анализ рельефа и строения отложений на участках стока из озер Неро и Селигер (реки Векса и Селижаровка, соответственно) показывает, что высота порога стока контролируется, прежде всего, аллювиальной аккумуляцией (или эрозией) в руслах крупных боковых притоков - реки Устье-Которосль и Крапивенка. Внутренние дельты этих рек образуют аллювиальную дамбу, которая поддерживает современный относительно высокий уровень озер. Так, русловая система Устья-Которосли на участке впадения Вексы находится в режиме интенсивной аккумуляции и роста высоты дна, о чем свидетельствует крайне частое меандрирование и обвалованный характер русел. До строительства плотины в Белогостицах во время крупных паводков на Устье-Которосли даже отмечались обратные уклоны по Вексе (Бикбулатов и др., 2003), что приводило к

противотоку воды и наводнениям на озере Неро. Все это указывает на прямую зависимость уровня Неро от эрозионно-аккумулятивного режима в системе рек Устье-Которосль.

Кривые колебаний уровня озер Неро и Селигер (Константинов и др., 2021; Константинов и др., 2023) обнаруживает тесную связь с диаграммой интенсивности флювиальных процессов (Panin and Matlakhova, 2015). Крупная регрессия озер в позднеледниковье и начале голоцена была вызвана экстремально высокими расходами воды и глубоким врезанием речных русел в регионе. Следствием этого стало существенное падение высоты порога стока озер. Так, озеро Неро фактически не существовало в раннем голоцене, оно выглядело как небольшое озеровидное расширение в месте слияния рек Сары и Ишни. Повышение уровня озер в атлантический период совпадает с минимумом речного стока в голоцене, что создало предпосылки для интенсивной аллювиальной аккумуляции на участках русел с низкими уклонами продольного профиля. Это привело к созданию аллювиальных дамб, подпрудивших низовья рек Сары и Ишни (в случае Неро) и Селижаровки (в случае Селигера). Дальнейшая стабилизация уровня озер с небольшим трендом к росту согласуется со снижением амплитуды флювиальной динамики. Так как выявленный механизм колебания уровня озер имеет региональную обусловленность, то озера с похожей историей могут быть распространены довольно широко в Центральной и Восточной Европе.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания FMWS-2024-0003 «Реконструкция природных событий прошлого на территории России по данным изучения седиментационных палеоархивов».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

- Digerfeldt G., Björck S., Hammarlund D. et al. 2013. Reconstruction of Holocene lake-level changes in Lake Igeljön, southern Sweden. *GFF* 135(2): 162-170. DOI: [10.1080/11035897.2013.799514](https://doi.org/10.1080/11035897.2013.799514)
- Harrison S.P., Yu G.E., Tarasov P.E. 1996. Late Quaternary lake-level record from northern Eurasia. *Quaternary research* 45(2): 138-159. DOI: [10.1006/qres.1996.0016](https://doi.org/10.1006/qres.1996.0016)
- Panin A., Matlakhova E. 2015. Fluvial chronology in the East European Plain over the last 20 ka and its palaeohydrological implications. *Catena* 130: 46-61. DOI: [10.1016/j.catena.2014.08.016](https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.08.016)
- Theuerkauf M., Blume T., Brauer A. et al. 2022. Holocene lake-level evolution of Lake Tiefer See, NE Germany, caused by climate and land cover changes. *Boreas* 51(2): 299-316. DOI: [10.1111/bor.12561](https://doi.org/10.1111/bor.12561)
- Wohlfarth B., Tarasov P., Bennike O. et al. 2006. Late glacial and Holocene palaeoenvironmental changes in the Rostov-Yaroslavl'area, West Central Russia. *Journal of Paleolimnology* 35: 543-569. DOI: [10.1007/s10933-005-3240-4](https://doi.org/10.1007/s10933-005-3240-4)
- Бикбулатов Э.С., Бикбулатова Е.М., Литвинов А.С. и др. 2003. Гидрология и гидрохимия озера Неро. 192 с.
- Константинов Е.А., Карпухина Н.В., Захаров А.Л. и др. 2023. Колебания уровня озера Неро в голоцене. *Геоморфология и палеогеография* 54(2): 51-60. DOI: [10.31857/S2949178923020044](https://doi.org/10.31857/S2949178923020044)
- Константинов Е.А., Панин А.В., Карпухина Н.В. и др. 2021. Речное прошлое озера Селигер. *Водные ресурсы* 48(5): 481-491. DOI: [10.31857/S0321059621050114](https://doi.org/10.31857/S0321059621050114)