

УДК 631.4+556.5

ЗАСОЛЕННЫЕ ПОЧВЫ РОСТОВСКОЙ НИЗИНЫ (ЯРОСЛАВСКОЕ ПОВОЛЖЬЕ): СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЗАСОЛЕНИЯ И ЭВОЛЮЦИОННЫЕ ТРЕНДЫ НА ФОНЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Ю. В. Симонова^{*}, А. В. Русаков, Н. А. Лемешко

*Санкт-Петербургский государственный университет (Университетская
набережная, 7-9, Санкт-Петербург, Россия, 199034), *uvsim@yandex.ru*

Гидрохимический состав воды оз. Неро и его притоков тесно связан с формированием почвенно-грунтового комплекса окружающих ландшафтов. В настоящей статье представлена характеристика современного состояния засоленных почв низких террас озера. В среднем содержание солей в почвах, исследованных в 2016–2018 гг., находилось в интервале от 0,2 до 0,3 %. Засоление почв в пределах слабодренируемой приозерной части Ростовской низины приурочено к плоским обводненным или пониженным заболоченным участкам. Источником засоления, совершенно не характерного для гумидного климата Ярославского Поволжья, являются грунтовые воды (ГВ) с минерализацией свыше 1,0 г/л. Солончатость ГВ определяется гидрогеологическими особенностями территории и положением озерной депрессии в рельефе как базиса аккумуляции солей. В почвах заметно выражена тенденция относительного накопления SO_4^{2-} и Ca^{2+} , тогда как более миграционно активные Cl^- и Na^+ , вымываясь из почвенного профиля, оказываются в гидрографической сети. Установлено, что ряд притоков оз. Неро отличаются высокой минерализацией (более 500 мг/л) и заметным участием Cl^- и Na^+ в макрокомпонентном составе. Среди них особенно выделялись реки Мазиха, Ишня, Кучебешь, Сула. Величина минерализации воды оз. Неро значительно менялась в течение года, а в его макрокомпонентном составе неоднократно отмечено увеличение вклада Cl^- , SO_4^{2-} и Na^+ . Сравнительная оценка современных засоленных почв Ростовской низины и их аналогов, обследованных 30–40 лет назад, выявила тенденцию снижения уровня засоления. Содержание карбонатов гидрогенного происхождения и зольность торфяных засоленных почв, напротив, за это время увеличились. В качестве основной гипотезы трансформации почв, произошедшей за последние 30–40 лет, рассматриваются изменения климата. Засоленные почвы являются чувствительными компонентами озерного ландшафта и могут служить индикаторами изменения условий окружающей среды.

Ключевые слова: озеро Неро; грунтовые воды; р. Ишня; р. Мазиха; минерализация; гидроморфные почвы.

Для цитирования: Симонова Ю. В., Русаков А. В., Лемешко Н. А. Засоленные почвы Ростовской низины (Ярославское Поволжье): современное состояние, гидрологические аспекты засоления и эволюционные тренды на фоне климатических изменений // Труды Карельского научного центра РАН. 2022. № 8. С. 31–49. doi: 10.17076/eco1713

Финансирование. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-29-05243. Измерения содержания натрия и калия выполнены в РЦ «Методы анализа состава вещества» СПбГУ (проект № 108-8100).

Yu. V. Simonova*, A. V. Rusakov, N. A. Lemeshko. SALINE SOILS OF THE ROSTOV LOWLAND (YAROSLAVL VOLGA REGION): CURRENT STATE, HYDROLOGICAL ASPECTS OF SALINIZATION AND EVOLUTION TRENDS IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE

*Saint Petersburg State University (7-9 Universitetskaya Nab., 199034 St. Petersburg, Russia), *uvsim@yandex.ru*

The hydrochemical composition of Lake Nero and its tributary streams is closely related to the soils in the catchment. This paper describes the current state of saline soils on the lakeside lower terraces. On average, the salinity of the soils surveyed in 2016–2018 ranged from 0.2 to 0.3 %. Soil salinization within the poorly drained lakeside part of the Rostov Lowland is confined to flat or low-lying waterlogged areas. The source of the salinity, which is completely uncommon for the humid climate of the Yaroslavl Volga region, is groundwater with a TDS content of more than 1.0 g/l. The brackish groundwater is a result of the hydrogeological features of the territory and the topographic position of the basin as the base level of salt accumulation. The soils exhibit a noticeable tendency for relative accumulation of SO_4^{2-} and Ca^{2+} , while the more migration-active Cl^- and Na^+ get washed out of the soil profile into the watercourses of the nearest hydrographic network. Some tributaries to Lake Nero showed a high TDS content (over 500 mg/l) and a significant share of Cl^- and Na^+ among macro-components. Such were rivers Mazikha, Ishnya, Kuchebesh', and Sula. Lake Nero water TDS content varied significantly during the year and the contributions of Cl^- , SO_4^{2-} , and Na^+ to its macro-component composition showed several rises. Compared to similar soils surveyed 30–40 years ago, saline soils of the Rostov Lowland exhibit a downward trend in salinity. The content of carbonates of hydrogenous origin and the ash content of peat soils, on the contrary, increased over this time period. Climate change is hypothesized as the main cause of the soil transformation over the past 30–40 years. Saline soils are sensitive components of the lakeside landscape and can serve as indicators of changes in environmental conditions.

Keywords: Lake Nero; groundwater; Ishnya River; Mazikha River; TDS content; waterlogged soils

For citation: Simonova Yu. V., Rusakov A. V., Lemeshko N. A. Saline soils of the Rostov Lowland (Yaroslavl Volga region): current state, hydrological aspects of salinization and evolution trends in the context of climate change. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2022. No. 8. P. 31–49. doi: 10.17076/eco1713

Funding. The study was supported by RFBR grant #19-29-05243. Sodium and potassium content measurements were performed at the St. Petersburg State University's "Chemical Analysis and Materials" Resource Center (project No. 108-8100).

Введение

Многолетние комплексные гидрологические, гидрохимические и гидробиологические исследования оз. Неро (Ярославское Поволжье) выполняются сотрудниками ИБВВ РАН и ЯрГУ [Бикбулатов и др., 2003; Состояние..., 2008; Литвинов, 2017; Sigareva et al., 2019; Законнов и др., 2020 и многие другие]. Донные осадки озера были подробно охарактеризованы лабораторией сапропелевых отложений Института леса АН СССР, что позволило выстроить их биостратиграфию [Труды..., 1956].

Изучение донных отложений и террас с целью палеогеографической реконструкции истории развития озера проводится в Институте географии РАН [Константинов и др., 2019; Ukraintsev et al., 2020; Лазукова и др., 2021]. Однако причина повышенной минерализации и своеобразного (из-за повышенного количества Cl^- и Na^+) химического состава воды оз. Неро остается выясненной не до конца.

В качестве наиболее вероятного варианта специфического состава вод озера высказывается предположение о заметном количестве растворимых солей, приносимых с водами

притоков, дренирующих поверхности приозерной котловины, почвенный покров которых представлен «солонцами», «солончаками», «усолами» [Фортунатов, Московский, 1970; Бикбулатов и др., 2003; Литвинов, 2017]. Среди наиболее соленых выделяются воды крупных притоков ЮЗ части озера – р. Ишня и Кучебешь [Крайнер, Студенов, 1959; Бикбулатов и др., 2003; Состояние..., 2008]. Таким образом, возникает необходимость рассмотрения процесса засоления с точки зрения подхода, подразумевающего установление взаимосвязи между формированием химического состава грунтовых вод (ГВ), почв, поверхностных водотоков.

Влияющие на состав воды притоков и самого оз. Неро ареалы засоленных почв представляют интерес не только для лимнологов, но и для почвоведов, поскольку существование таких почв не укладывается в рамки общепринятых почвенно-географических закономерностей. Влажный умеренно континентальный климат Ярославского Поволжья обеспечивает промывной водный режим дренированных поверхностей водоразделов, способствуя развитию почв подзолистого типа. В пониженных элементах рельефа гумидных внутриконтинентальных территорий почвы подвергаются гидроморфизму и заболачиванию, но никак не засолению.

В гидрографическом плане изучаемая территория принадлежит бассейну Верхней Волги, а само оз. Неро является одним из самых крупных водоемов Ярославского Поволжья. Площадь водосборного бассейна составляет 1170 км², водного зеркала – около 58 км² [Литвинов, 2022]. Озеро является проточным, принимающим более 20 притоков, самый крупный из которых р. Сара. Вытекает из озера р. Векса, которая, соединяясь с р. Устье, переходит в р. Которосль, правый приток Волги.

Оз. Неро расположено в южной части Ростовской низины, которая приурочена к территории приозерной котловины. Основной водосборной площадью оз. Неро является Борисоглебская возвышенность, примыкающая к Ростовской низине с запада и юга [Рохмистров, 1968].

Озеро Неро – ледникового происхождения, образовалось около 150 тыс. лет назад, во время последнего межледниковья [Алешинская, Гунова, 1997]. Сама приозерная котловина (Ростовская впадина) площадью около 750 км² [Фортунатов, Московский, 1970] возникла в результате тектонических движений в нижнем мелу, испытывая дальнейшее погружение за счет интенсивных эрозионных процессов. В четвертичное время рельеф района развивал-

ся унаследованно, но плейстоценовые ледники в значительной степени изменили его своей эрозионной и эрозионно-аккумулятивной деятельностью [Новский, 1971].

Современная поверхность котловины представляет собой слабовсхолмленную озерно-ледниковую равнину со слабым уклоном и абсолютными отметками 93–110 м. В рельефе котловины выражены три террасы, образование которых связано с колебаниями оз. Неро; со всех сторон котловина отделена уступом [Матинян и др., 1996].

В позднемосковское время на месте гляцио-депрессии появилось обширное ледниковое озеро, представляющее собой глубокий ультраолиготрофный водоем, занимающий всю впадину [Москвитин, 1967; Гунова, 1975; Алешинская, Гунова, 1998]. В это время сформировались ленточные глины, выстилающие днище водоема, уровень озера был высоким, климатические условия – суровыми [Гунова, 1975]. В микулинский межледниковый период с теплым климатом уровень озера понижается. Активизируется глубинная эрозия, способствующая росту речной сети и расширению озерной и флювиогляциальной равнин. Оз. Неро в это время является проточным водоемом с уровнем, близким к современному [Новский, 1971].

С началом валдайской ледниковой эпохи, во время которой территория находилась в перигляциальной зоне оледенения, уровень озера поднимается до отметок 107–110 м, а само озеро представляет собой олиготрофный водоем. В средневалдайское время с улучшением климатических условий происходит снижение уровня озера и заканчивается формирование 2-й террасы. К средневалдайскому интервалу приурочено две регрессии озера. В поздневалдайское время возможно несколько подъемов уровня озера за счет притока талых вод. С наступлением наиболее теплых периодов (беллинг, аллеред) происходит постепенный спад уровня озера и заканчивается формирование 1-й террасы. Площадь озера значительно уменьшается, уровень достигает абс. отметки 100 м [Гунова, 1975].

В голоцене для котловины оз. Неро отмечается несколько небольших по продолжительности ритмов обводнения и обмеления. В это время в озере накапливаются карбонатные и торфянистые сапропели. Современные данные изучения донных отложений и террас озера [Константинов и др., 2019; Ukraintsev et al., 2020] говорят о падении его уровня в первой половине голоцена до отметки ниже современной, за которым в начале атлантического периода последовала трансгрессия. В целом голоцено-

вый период характеризуется усилением эвтрофикации и мелководности озера [Алешинская, 1973; Лазукова и др., 2021].

Проблематика засоления приозерного ландшафта за всю историю изучения неоднократно поднималась в различных практических аспектах, наиболее значимым из которых является сельскохозяйственное использование [Симонова, Русаков, 2017]. Территория котловины оз. Неро исторически интенсивно осваивалась, чему способствовало выгодное географическое положение и специфика почвенного покрова [Бардин, 1938]. Наличие высокоплодородных темноцветных почв в приозерной котловине составило основу высокопроизводительного «ростовского огородничества» [Барышева, 1953]. В приозерном районе население занималось почти исключительно разведением овощей, не высевая полевых культур. Огороднический промысел здесь превратился в древнейшее в России искусство, широко известное за пределами губернии [Кичунов, 1911]. Вплоть до 1990-х гг. сельское хозяйство играло доминирующую роль в экономике Ростовского района.

Темноцветные приозерные почвы, обладающие высоким уровнем потенциального плодородия (так называемые «ростовские черноземы») и представляющие большую ценность для сельского хозяйства, формировались под воздействием длительного окультуривания [Чижиков, 1956]. Сопряжение в литолого-геоморфологическом отношении «ростовских черноземов» с морфологически неотделимыми от них, но отличающимися низким плодородием «усолами» давно привлекало внимание [Бернштейн, 1903, 1915]. В комбинациях темноцветных и «усолистых» почв последние занимали подчиненное положение, имея ограниченное распространение в виде пятен и полос [Великанов, 1957], поэтому при почвенном районировании Ярославской области котловина была выделена как ростовский приозерный подрайон темноцветных заболоченных и солончаковых почв [География..., 1972].

С момента первого изучения приозерных почв, когда развитие засоления в котловине имело тенденцию «расползающегося солончака» [Флеров, 1903], прошло уже более 100 лет. Проведенные за это время мероприятия по мелиорации могли коренным образом изменить ситуацию и способствовать рассолению почв.

В то же самое время, начиная с 1970-х гг., в большинстве регионов европейской территории России наметился устойчивый тренд потепления [IPCC..., 2014; Национальный..., 2019], которому сопутствовали изменения гидро-

логического режима [Oki, Kanae, 2006]. Так, в последние десятилетия в бассейне Верхней Волги замечены сдвиги в ледовом режиме рек и озер, увеличение зимнего притока, рост количества осадков на зеркало водоемов, колебания уровня воды в реках и озерах, что нашло отражение в изменении гидрологических характеристик, показателей развития фито- и зоопланктона, макрофитов [Лазарева, Соколова, 2013; Литвинов, Законнова, 2014; Законнова, Литвинов, 2016; Babanazarova et al., 2018]. Изменения температуры, а также связанные с ними гидрологические изменения запускают механизмы трансформации не только структуры водных сообществ и экосистем, но и современного растительного и почвенного покрова водосборов.

Цели настоящего исследования: 1) охарактеризовать современное состояние засоленных почв; 2) выяснить роль почв в засолении озерных ландшафтов; 3) выявить средневременные (за последние 30–40 лет) тренды их эволюционных изменений.

Материалы и методы

Территория и объекты исследования

В настоящей работе проводились исследования химического состава вод оз. Неро и его основных притоков. Выполнялись анализы ГВ и почв, залегающих в гидроморфных и полугидроморфных позициях на 1-й и 2-й террасах озерной котловины.

Исследования химического состава воды оз. Неро проводились в период 2017–2019 гг. Точка регулярного отбора проб воды оз. Неро находилась в СЗ части озера (точка 1 на рис. 1); однократно отбиралась проба со стороны с. Угодичи (точка 8 на рис. 1). Отбор проб воды речной сети бассейна проводился в начале мая в 2018 г. Расположение мест отбора проб с указанием границ речных бассейнов представлено на схеме (рис. 1).

Исследования химического состава ГВ низких террас котловины выполнены нами в июне 2017 г. Пробы почв отбирались в полевые сезоны 2016–2018 гг. (сентябрь 2016 г., июнь 2017 г., июль–август 2018 г.). Точки отбора проб ГВ и мест заложения почвенных разрезов указаны на рис. 2.

Четвертичные отложения водосборного бассейна представлены разнообразием генетических типов, а террасы оз. Неро в районе наших исследований сложены породами озерного генезиса в основном суглинистого и супесчаного состава.

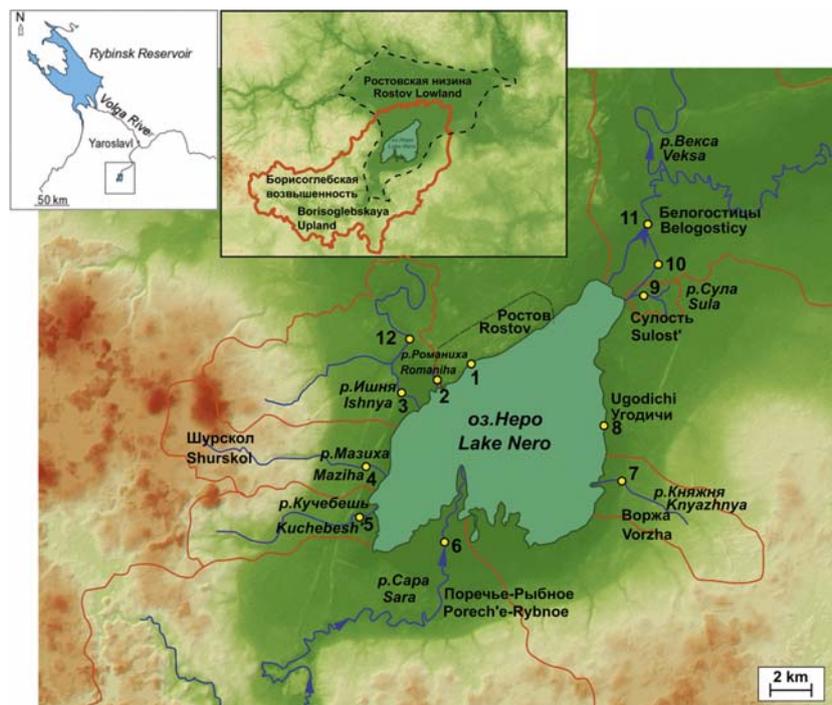


Рис. 1. Местоположение района исследований и карта-схема отбора проб воды. Точками обозначены места отбора проб, сплошной красной линией – границы водосборной площади оз. Неро и его притоков, пунктирной линией – границы озера в период отступления московского ледника [по: Гунова, 1975]

Fig. 1. The study area and sampling points of surface waters. The dots indicate the sampling sites, the solid red line – the boundaries of the catchment area of Lake Nero and its tributaries, and the dotted line – the lake boundaries at the end of the Moscow glaciation [after: Gunova, 1975]

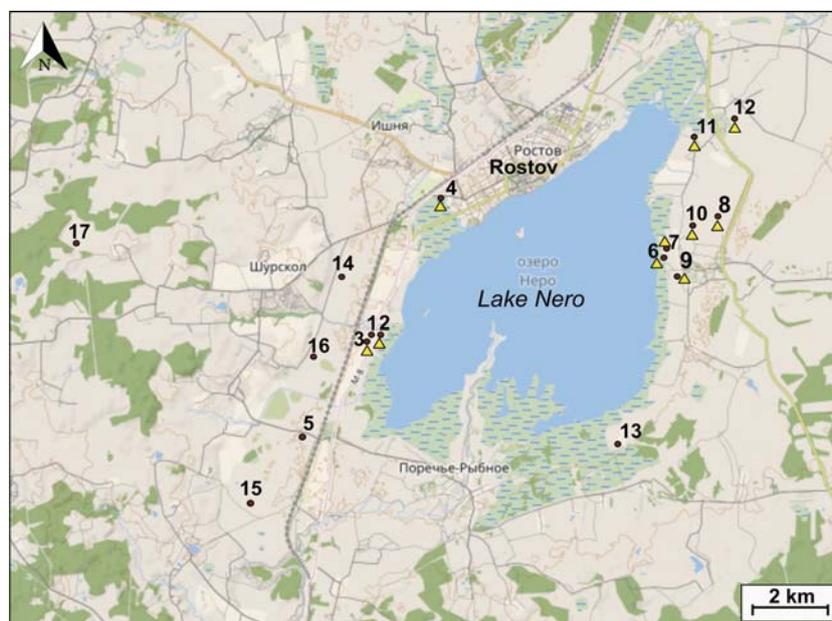


Рис. 2. Карта-схема отбора проб грунтовых вод и почв. Точками отмечены места закладки почвенных разрезов, треугольниками – места отбора проб грунтовых вод. Использован снимок с ресурса OpenStreet Map

Fig. 2. The sampling sites of shallow groundwater and soils. The dots indicate the locations of the soil pits, the triangles – the locations of groundwater sampling. The image was taken from OpenStreet Map

Территория исследования находится в зоне дерново-подзолистых почв южной тайги. Однако приозерный район отличается практически полным отсутствием лесов. Среди видов растений засоленных лугов немало занесенных в Красную книгу Ярославской области (*Juncus gerardii* Loisel, *Ostericum palustre* Bess., *Scirpus tabernaemontani* C. C. Gmel., *Triglochin maritimum* L.).

Методы исследования

Отбор проб почвы проводили из разрезов с зачищенной стенки после морфологического описания профиля. Усредненные пробы отбирали послойно в пределах каждого генетического горизонта и помещали в полиэтиленовые пакеты. Образцы почв, высушенные до воздушно-сухого состояния, измельчали и просеивали через сито с диаметром ячеек 1 и 0,25 мм.

Пробы ГВ, вскрытых при откапывании почвенных разрезов, отбирали в пластиковые бутылки. Хранение проб предусматривалось в холодильнике. Фильтрат проб воды, предназначенный для определения катионов, для увеличения срока хранения подкислялся азотной кислотой.

Определение карбонатной щелочности и гидрокарбонат-ионов выполняли титриметрическим методом по: [ГОСТ 31957-2012] с потенциометрическим фиксированием конечной точки титрования (до pH 5,4 и 4,5 соответственно). Содержание Cl^- определяли аргентометрическим методом, Ca^{2+} и Mg^{2+} – трилонометрическим, SO_4^{2-} – весовым, Na^+ и K^+ – методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на приборе ICPE-9000. Измерение pH выполняли pH-метром Hanna Instruments. Анализ проб поверхностных и грунтовых вод на показатели карбонатной щелочности, гидрокарбонат-ионов и pH проводили на месте отбора.

Для оценки степени засоления почв рассчитывалась общая сумма солей (Собщ) и сумма токсичных солей (Стокс), перешедших в водную вытяжку [Базилевич, Панкова, 1972; Воробьева, 1998; FAO..., 2018]. Водная вытяжка почв готовилась при соотношении почвы к воде равном 1 : 5. Дополнительно определялась электропроводность водной вытяжки почв (ЕС 2,5) при соотношении почвы к воде 1 : 2,5 [FAO..., 2006]. Содержание карбонатов определялось гравиметрическим методом после обработки 5 М HCl. Массовая доля зольности торфяных почв определялась путем прокаливания при температуре 525 °С.

Для выявления трендов эволюционных изменений сравнивались почвы двух периодов обследования. В первый период (1984–1991 гг.) почвенные образцы засоленных почв отобраны во время крупномасштабного картографирования Ростовской низины. Второй период относился к современному обследованию почв (2016–2018 гг.). Архивные и современные образцы были проанализированы в 2019 г. Для анализа сравниваемых почвенных образцов применялись одни и те же методы, методики и приборы.

Для оценки статистических различий сравниваемых показателей почвенных свойств применялся непараметрический критерий Уилкоксона для связанных выборок. Степень взаимосвязи макрокомпонентов химического состава природных вод оценивалась с помощью коэффициента Спирмена (R) для ранговой корреляции при 5% уровне значимости ($p < 0,05$). Вычисления проводили в статистических пакетах RStudio [R Core Team..., 2021].

Результаты и обсуждение

История формирования почв исследуемой территории

Формирование почвенного покрова исследуемой территории и его голоценовая эволюция связаны с трансгрессивно-регрессивным ритмом колебаний оз. Неро и уровня ГВ [Матинян и др., 1996]. Начало почвообразования Ростовской низины стало возможным после полного отступления валдайского ледника. За время позднего плейстоцена и голоцена наблюдается устойчивый тренд снижения уровня воды и обмеления оз. Неро, в результате которого дневная поверхность высвобождается для почвообразования.

В атлантический период голоцена климат характеризуется как теплый и влажный [Гунова, 1975]. В это время на более высоких элементах рельефа в пределах 1-й и 2-й террас озера формировались автоморфные и поверхностно-глееватые текстурно-дифференцированные почвы [Русаков, 1993]. На слабодренированных поверхностях в пределах низких плоских повышений образовывались дерновые заболоченные и болотные низинные почвы. На фоне резкого обмеления озера в конце атлантического периода происходит значительное снижение уровня местных базисов эрозии и углубление вреза овражно-балочной сети, что приводит к выносу материала склонов к бортам террас и погребению низинных торфяников [Русаков, 1993].

Основываясь на результатах радиоуглеродного датирования, А. Л. Александровский [2011] вторые гумусовые горизонты (ВГГ) палеопочв окрестностей оз. Неро относит к среднему голоцену. Точнее, образование ВГГ происходит поэтапно: в атлантический период и периоды более сухого климата бореально-го и суббореального времени (10–3,7 тыс. лет назад). При этом в темноцветную стадию почвообразования господствуют условия лесостепи. В лесную стадию педогенеза (последние 3,7 тыс. лет) в условиях более влажного и холодного климата происходит деградация ВГГ, вплоть до полного их исчезновения, и одновременно усиливается текстурная дифференциация почв. Так, в начале суббореального периода в результате трансгрессии оз. Неро темноцветные почвы оказались частично затоплены. В зоне подтопления темноцветная стадия сменилась луговой с формированием дерново-глеевых почв, а выше отметок 97 м – лесной (дерново-подзолистые почвы) [Александровский, 2011]. В это время в озере прекращается накопление карбонатных осадков и начинает откладываться торфянистый материал [Гунова, 1975].

На этапе позднего голоцена важную роль в истории формирования почв котловины играет антропогенный фактор. Изучаемая территория становится древнейшим очагом интенсивного земледелия [Бардин, 1938]. При этом распашка земель происходит на фоне сокращения площадей под лесом. В итоге на начало XX века распаханность территории Ростовской низины составляет около 70 %, площадь лесов – менее 5–8 % [Печенин, 1928]. Площади, занятые лесами, в основном вторичного происхождения, располагаются уже только по периферии бассейна оз. Неро. Возделывание на территории овощных и пропашных культур и сведение лесов приводит к развитию эрозионных процессов [Матинян и др., 1996].

В это время наибольший интерес среди почв приозерной котловины представляют темноцветные почвы, распространенные на луговой террасе озера и на пологом склоне от надлуговой террасы в сторону озера («ростовские черноземы»), и засоленные почвы («усолы») [Чижиков, 1956]. По мнению В. В. Докучаева, «ростовские черноземы» и «усолы» имеют болотное происхождение, а их внешнее сходство со степными черноземами достигается высокой и многолетней культурой земледелия [Докучаев, 1883]. Б. Л. Бернштейн [1915], составляя классификацию ростовских почв, объединяет их в самостоятельную родовую группу – почвы иловато-болотного типа, местами

обогащенные солями, подчеркивая тем самым общность их гидроморфного происхождения.

Характеристика современного состояния засоленных почв

В ходе экспедиций 2016–2018 гг. нами были заложены почвенные разрезы на местах, указанных в литературе [Бернштейн, 1903, 1915], а также отмеченных как засоленные при проведении крупномасштабного картографирования отдельных крупных совхозов на территории Ростовской низины в 1980-х гг., выполненного кафедрой почвоведения СПбГУ совместно со специалистами Росгипрозема. Для оценки современного состояния засоления почв котловины были проанализированы 17 почвенных разрезов, местоположение которых указано на схеме (рис. 2).

В среднем содержание легкорастворимых солей в исследованных нами почвах находилось в интервале от 0,20 до 0,30 %. Однако встречались варианты, обладающие более высоким уровнем засоления (табл. 1). Например, в почвах луговой террасы в районе п. Львы и с. Угодичи содержание солей составило 2,43 и 0,56 % (точки 2 и 6 на рис. 2). Почвы с содержанием солей 0,46 % выявлены в пределах заболоченного луга вблизи устья р. Романихи, где в настоящее время организованы карты намыва для складирования добытого из озера сапропеля (точка 4 на рис. 2).

В почвах заметно выражена тенденция относительного накопления в составе легкорастворимых солей SO_4^{2-} и Ca^{2+} , тогда как самые миграционно активные Cl^- и Na^+ , вымываясь из почвенного профиля в фазы повышенной водности, оказываются в водотоках ближайшей гидрографической сети, что определяет значимость буферной способности почв для качества поверхностных вод района исследований. Особенно большое значение в снижении возможных концентраций растворенных солей, попадающих в водотоки, имеют почвы луговой террасы озера, принимающие на себя основную долю нагрузки ионного стока.

В отличие от подходов, применяемых 100 лет назад, сегодня степень засоления принято устанавливать по показателю Стокс, который может значимо отличаться от общего количества солей $\text{С}_{\text{общ}}$, переходящих в водную вытяжку [Засоленные..., 2006]. По величине Стокс из 17 изученных разрезов в двух почвы имели сильную степень засоления, в пяти – среднюю, еще в пяти – слабую и еще пять были отнесены к незасоленным разностям.

Наиболее тесные значимые корреляции $\text{С}_{\text{общ}}$ ($R > 0,70$) установлены с Cl^- , SO_4^{2-} и Ca^{2+} ,

Таблица 1. Данные анализа водной вытяжки некоторых разрезов засоленных почв

Table 1. Data on soil-water extracts of 1 : 5 of some salt-affected soils

Глубина, см Depth, cm	рН	Сух. ост. TDS	Общ. щел. Alcalinity	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Собщ Stot	Стокс Stox
		%	смоль(экв)/кг cmol(eq)/kg								%
Точка 2 на рис. 2. Классификационное положение почвы: Темногумусово-глеевая перегнойно-гумусовая засоленная легкосуглинистая на озерных отложениях. Химизм засоления: Cl-SO ₄ с гипсом. Степень засоления: сильная.											
No 2 in Fig. 2. Taxonomic designations: <i>Mollic Reductigleyic Gleysol (Salic, Loamic)</i> . Chemical type: Cl-SO ₄ with gypsum. Salinity grade: high.											
0–10	6,2	2,71	0,07	1,79	34,36	25,02	8,94	4,44	0,04	2,43	0,73
10–20	6,2	1,60	0,04	0,86	20,07	14,67	5,82	0,48	0,02	1,37	0,37
20–35	6,3	0,30	0,63	0,63	5,60	2,11	2,11	2,64	0,03	0,46	0,31
35–45	6,7	1,61	0,22	1,95	23,52	14,08	5,42	7,21	0,03	1,72	0,76
45–60	6,4	1,59	0,21	1,07	19,72	12,86	5,36	2,79	0,01	1,38	0,51
60–80	6,7	1,33	0,54	0,54	16,67	11,78	0,65	5,31	0,01	1,22	0,41
80–90	6,7	0,21	0,61	0,61	3,12	2,44	0,61	1,28	0,01	0,29	0,12
90–100	6,2	0,23	0,65	0,43	3,12	2,81	0,65	0,76	0,01	0,29	0,09
Точка 10 на рис. 2. Классификационное положение почвы: Темногумусовая глееватая засоленная постагрогенная тяжело-суглинистая на озерных глинах. Химизм засоления: Cl-SO ₄ с участием соды. Степень засоления: средняя.											
No 10 in Fig. 2. Taxonomic designations: <i>Chernic Gleyic Umbrisol (Salic, Clayic, Anoaric)</i> . Chemical type: Cl-SO ₄ with sodium carbonate. Salinity grade: moderate.											
0–10	7,9	0,38	1,05	1,05	3,02	0,79	0,00	4,33	0,03	0,36	0,30
10–20	7,9	0,40	0,84	0,21	4,04	0,74	0,00	4,36	0,02	0,37	0,31
25–35	7,8	0,22	0,93	0,63	0,89	0,53	0,00	1,93	0,04	0,18	0,14
35–45	7,7	0,22	0,42	0,63	1,83	0,26	0,00	2,61	0,04	0,20	0,18

значимые корреляции средней силы ($0,70 > R > 0,60$) – с Na⁺ и Mg²⁺. Высокая корреляционная взаимосвязь Стокс ($R > 0,70$) выявлена с SO₄²⁻ и Na⁺ (рис. 3).

Чаще всего исследованные почвы имели хлоридно-сульфатный, реже сульфатно-хлоридный и хлоридный вид засоления. В почвах средней и сильной степени засоления в химизме отмечено участие соды и гипса. По положению верхней границы солевого горизонта в соответствии с классификацией почв России [Классификация..., 2004] почвы отнесены к виду солончаковых.

Величина рН изученных почв покрывала широкий диапазон от слабокислых до щелочных разностей, но большинство из них относились к нейтральным и слабощелочным. Повышенные значения рН часто связаны с наличием карбонатов. В минеральных почвах низких террас и торфяных почвах, занимающих понижения 2-й террасы, карбонаты имеют гидрогенное происхождение. Морфологически карбонаты представлены либо дисперсной формой, либо, если осаждение происходит более интенсивно, – в виде прослоев «луговой извести» (гажи). Особенно выражено карбонатонакопление в органогенных почвах, где они образуют гажевые горизонты, подстилающие торфяную толщу. В горизонтах гажы содержание карбонатов

может достигать 80–90 %. Известно, что формирование гажы определяется рядом условий, среди которых выходы на поверхность напорных подземных вод, обогащенных растворами карбонатов, при наличии в современном релье-

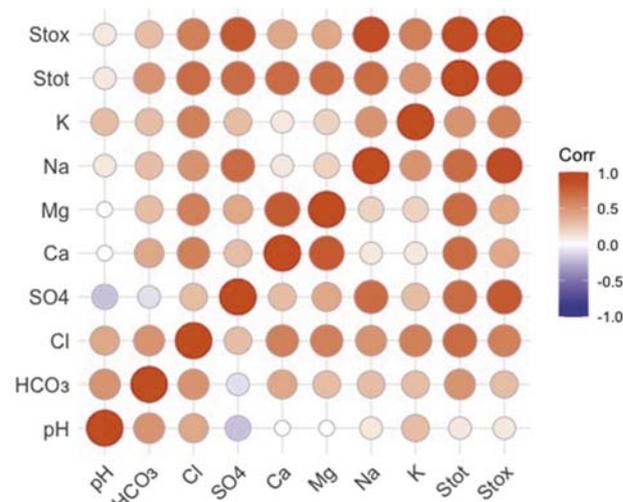


Рис. 3. Матрица корреляций химического состава водной вытяжки почв. Крупными кружками обозначены значимые корреляции

Fig. 3. Correlation matrix for the chemical composition of the soil-water extracts. The large circles indicate significant correlations

ефе понижений, способствующих застою вод [Бартош, 1976].

Согласно классификации почв России [Классификация..., 2004], изученные почвы входят в отделы органо-аккумулятивных, глеевых и торфяных почв и отнесены к темногумусово-глеевым и темногумусовым глееватым почвам, а также к торфоземам. Засоление в них проявляется на уровне признака.

Почвы имеют пятнистый характер распространения без заметной доли в структуре современного почвенного покрова. В пределах выположенной территории приозерной части котловины такие пятна приурочены к микропонижениям рельефа с близким к поверхности уровнем ГВ.

Важным моментом функционирования рассмотренных засоленных почв является то, что их солевой режим быстро отражает смену гидротермических условий в течение года, чувствительно реагируя на изменение соотношения увлажнения территории и испарения. В периоды усиления атмосферного увлажнения (весна, осень) содержание солей в почвах снижается, тогда как в сухие сезоны, напротив, увеличивается. Таким образом, значимость процессов галоморфизма усиливается и ослабляется в зависимости от фазы водности в период наблюдений.

Детализация вопроса о генезисе засоления озерных ландшафтов, подтверждаемая гидрохимическими исследованиями

Появление такого компонента, как засоленные почвы, в структуре почвенного покрова исследованной территории обязано характеру рельефа Ростовской низины, определившему предпосылки развития гидроморфных и полугидроморфных почв, и специфике ГВ.

Изучение режима подземных вод, выполненное Гипроводхозом в начале 1980-х гг., показало, что ГВ приозерной котловины по условиям питания атмосферными осадками относятся к сезонному типу. Максимальные уровни их подъемов соответствуют наибольшему количеству выпавших осадков и периоду интенсивного снеготаяния (апрель). Амплитуда колебаний между зимним минимумом и весенним максимумом составляет 0,1–1,5 м, между весенним максимумом и летним минимумом – 0,2–0,7 м. Питание ГВ в районе исследования осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков, притока со стороны окружающих склонов, а также за счет разгрузки нижележащих водоносных горизонтов. При наличии гидростатического напора высокоминерализованные воды из более глубоких водоносных горизонтов, заключенных в отложениях пермско-триассового возраста, обеспечивают подпитку горизонтов ГВ [Гидрогеология..., 1966; Рохмистров, 1968].

Водовмещающими породами низких террас являются озерно-аллювиальные и озерно-болотные отложения, местами перекрытые торфом и сапропелем. В ряде случаев (в зависимости от строения водовмещающей толщи) ГВ приобретают незначительный напор.

Уклон поверхности зеркала ГВ на низких террасах очень слабый, а в части, непосредственно прилегающей к оз. Неро, почти отсутствует. В пределах 1-й террасы озера уровень ГВ редко находился ниже 1,0 м от поверхности. В почвах, развитых на суглинистых отложениях или при подстилании ими, создаются условия для замедленной инфильтрации осадков, что приводит к образованию верховодки. В момент своего наивысшего стояния ГВ смыкаются с верховодкой и могут достигать поверхности. В таких случаях заболачивание и оглеение почвы определяется как высоким уровнем ГВ, так и застоем верховодки.

Для развития внутриконтинентального засоления в гумидном климате, по нашему мнению, большое значение имеет гидрогеологический фактор. При наличии гидростатического напора высокоминерализованные воды из более глубоких водоносных горизонтов обеспечивают подпитку горизонтов ГВ и играют ведущую роль в переносе солей в зону активного водообмена и почвообразования. Появление гидрохимических зональностей в результате развития гидравлической связи между смежными водоносными горизонтами объясняется в литературе наличием тектонических деформаций территории, дочетвертичных эрозионно-аккумулятивных процессов, глубокими размывами палеодолин, погребенных структур разломов [Новский, 1975; Vinograd, 2004].

Исследования химического состава ГВ, имеющих распространение на 1-й и 2-й террасах (рис. 2), выполненные нами в июне 2017 г. (табл. 2), показали, что минерализация ГВ, за несколькими исключениями, находилась в интервале 1,0–2,7 г/л, что намного выше значений, характерных для зоны пресных вод.

Между отдельными компонентами химического состава и минерализацией была установлена корреляционная зависимость, которая ослабевала в следующем порядке: $SO_4^{2-} > HCO_3^- > Cl^- > CO_3^{2-}$ для анионов и $Ca^{2+} \approx Mg^{2+} > Na^+ > K^+$ для катионов. Корреляционная взаимосвязь минерализации с SO_4^{2-}

Таблица 2. Химический состав (мг/л) ГВ низких террас. Пробы отобраны в период с 09.06 по 15.06.2017 г.

Table 2. Chemical composition (mg/L) of the groundwater in the low terraces. The samples were taken in June 9–15, 2017

№ на рис. 2 No in Fig.2	pH	Карб. щел. Carbonate alkalinity	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Минерализация TDS
2	6,9	0	683	128	816	403	53	115	4,1	2201
3	6,8	0	586	170	153	173	44	120	0,5	1247
4	7,6	24	171	737	366	320	120	92	5,4	1836
6	7,2	0	189	227	168	115	28	91	20,9	839
7	6,9	0	521	614	565	212	47	506	1,4	2466
8	7,1	0	98	24	32	24	6	12	0,0	196
9	7,1	0	732	489	693	213	53	529	26,5	2736
10	8,2	48	561	213	252	48	66	276	0,0	1464
11	7,9	36	329	213	268	55	15	310	5,1	1231
12	7,8	48	756	85	68	108	26	161	0,4	1253

сильная ($R = 0,82$), с остальными ионами – средней силы. Вместе с тем, для ГВ оказались характерны смешанный химизм и высокая пестрота макрокомпонентного состава.

Почвенно-грунтовый сток играет существенную роль в формировании состава рек исследуемой территории. Так, анализ результатов гидрохимического опробования в нижнем течении рек (табл. 3), выполненный нами в 2018 г., показал наличие повышенной минерализации ряда притоков оз. Неро.

Отбор проб воды речной сети бассейна проводился в основном в период весеннего половодья, в начале мая, поэтому можно ожидать,

что найденные количества растворенных солей соответствуют не самому высокому уровню в структуре годового хода. Однако и без того часть рек демонстрировали концентрации солей свыше 500 мг/л, что совершенно нехарактерно для рек как Ярославского Поволжья, так и Восточной Европы в целом. Среди притоков оз. Неро наиболее высокой минерализацией выделялись реки Мазиха, Кучебешь, Сула (точки 4, 5, 9 на рис. 1).

Помимо поверхностного и грунтового стока, которые могут оказывать влияние на соотношение макрокомпонентов и величину минерализации, нельзя исключать участие роднико-

Таблица 3. Химический состав вод основных притоков оз. Неро

Table 3. Chemical composition of the main tributaries of Lake Nero

Место отбора Sampling site	№ на рис. 1 No in Fig. 1	Дата отбора Date of sampling	pH	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Минерализация TDS
				мг/л mg/L							
Романиха Romaniha	2	04.05.2018	7,1	183	66	56	63	18	66	2	454
Ишня (Ростов) Ishnya (Rostov)	3	03.05.2018	7,1	214	79	44	40	12	68	4	460
Мазиха Maziha	4	02.05.2018	7,6	458	113	49	90	32	100	3	845
Кучебешь Kuchelesh'	5	02.05.2018	7,6	397	99	76	100	24	96	2	793
Сара Sara	6	02.05.2018	7,3	214	21	34	49	24	12	1	355
Княжня Knyazhnya	7	02.05.2018	7,5	244	19	41	56	17	20	1	372
Сула Sula	9	02.05.2018	7,5	305	76	54	68	20	77	2	602
Векса (плотина) Veksa (dam)	10	02.05.2018	7,3	214	29	57	50	12	19	0	381
Векса Veksa	11	02.05.2018	7,6	214	29	42	42	19	25	2	372

вого питания рек. Например, в питании р. Мазихи, берущей начало на приводораздельном пространстве, принимает участие система родников. Исследованные нами в 2018 г. родники, выходы которых имеются в откосе оврага с. Шурскол, дренируемые р. Мазихой, имели минерализацию 1,3 и 2,0 г/л; в их макрокомпонентном составе преобладали HCO_3^- и Na^+ . При этом в химическом составе вод самой р. Мазихи также обнаружено высокое содержание этих ионов.

Показатель минерализации тесно коррелирует ($R > 0,70$) с содержанием HCO_3^- , Ca^{2+} , Cl^- , K^+ , а наиболее сильная корреляция установлена с содержанием Na^+ ($R = 0,84$). Участие Cl^- и Na^+ в макрокомпонентном составе особенно заметно в водах рек с повышенной минерализацией. Кроме основных притоков оз. Неро высокое содержание солей (1,2 г/л) с существенным вкладом Cl^- и Na^+ обнаружено в р. Рюмина (вблизи д. Солонино), впадающей в р. Мозгу, примыкающую к котловине с СЗ.

Следует отметить, что для рек Ярославского Поволжья характерны высокая жесткость и гидрокарбонатный кальциево-магниевый состав [Рохмистров, 2004]. В связи с этим среди изученных рек отдельного внимания заслуживает Ишняя, второй по величине приток оз. Неро. Помимо необычного соотношения главных ионов она проявляет неоднородность состава на своем протяжении.

В период 2017–2019 гг. р. Ишняя регулярно исследовалась нами (табл. 4) в створе, расположенном ниже по течению от ООПТ «Соляной источник «Варницы».

На фоне невысокой водности реки нами выявлены как повышенные величины минерализации, так и значительные колебания химического состава в течение периода наблю-

дения (табл. 4). Минимальная концентрация растворенных солей (333 мг/л) относится к моменту прохождения пика весеннего половодья (16.04.2017). В макрокомпонентном составе в это время преобладали Ca^{2+} , Mg^{2+} и HCO_3^- . В период летней и раннеосенней межени (даты отбора: 26.09.2017, 28.07.2018, 18.08.2019) при сильном испарении река переходила на грунтовое питание и мелела. Концентрация солей в это время достигала величины 1–2 г/л, а ионы Na^+ и Cl^- в составе воды становились доминирующими (табл. 4).

Как видно из графика (рис. 4), изменение химического состава обеспечивалось в первую очередь за счет колебаний концентраций Cl^- и Na^+ . С ними же была установлена сильная корреляционная взаимосвязь величины минерализации ($R > 0,90$).

Одной из характерных особенностей малых рек является их тесная связь с окружающим ландшафтом, поэтому процессы, происходящие на малом водосборе, быстро отражаются на состоянии реки, ее стоке и химическом качестве воды [Рохмистров, 2004]. Воды р. Ишния на рассмотренном отрезке испытывают локальное влияние участка с выходом соленого родника – ООПТ «Соляной источник «Варницы», а увеличение концентрации растворенных солей находится в тесной связи с изменениями ионного состава ГВ и почв участка, отражая фазы повышенной водности и низкого стока [Simonova et al., 2020].

Засоление почв территории водосбора, повышенная минерализация ГВ и притоков озера не может не отразиться на химическом составе самого оз. Неро. Поэтому, несмотря на проточность, водоем выделяется среди пресных озер средней полосы повышенной соленостью

Таблица 4. Химический состав воды р. Ишняя (точка 12 на рис. 1) в период наблюдений 2017–2019 гг.

Table 4. Chemical composition of the Ishnya River (No. 12 in Fig. 1) during the observation period 2017–2019

Дата отбора Date of sampling	pH	Карб. щел. Carbonate alkalinity	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Минерализация TDS
16.04.2017	6,8	0	109	67	57	40	24	31	5	333
11.05.2017	7,1	15	190	176	234	156	32	51	12	866
31.05.2017	7,7	12	214	142	163	104	19	65	5	724
12.06.2017	7,8	18	311	160	152	110	34	71	12	867
26.09.2017	8,0	0	366	482	334	200	48	271	8	1709
03.05.2018	7,4	0	153	177	123	50	12	146	8	670
28.07.2018	6,8	0	305	624	370	140	48	414	7	1907
04.10.2018	7,0	0	305	142	104	60	30	121	5	767
02.05.2019	7,9	0	305	241	89	76	30	119	7	867
18.08.2019	7,4	0	305	344	150	112	29	250	10	1199

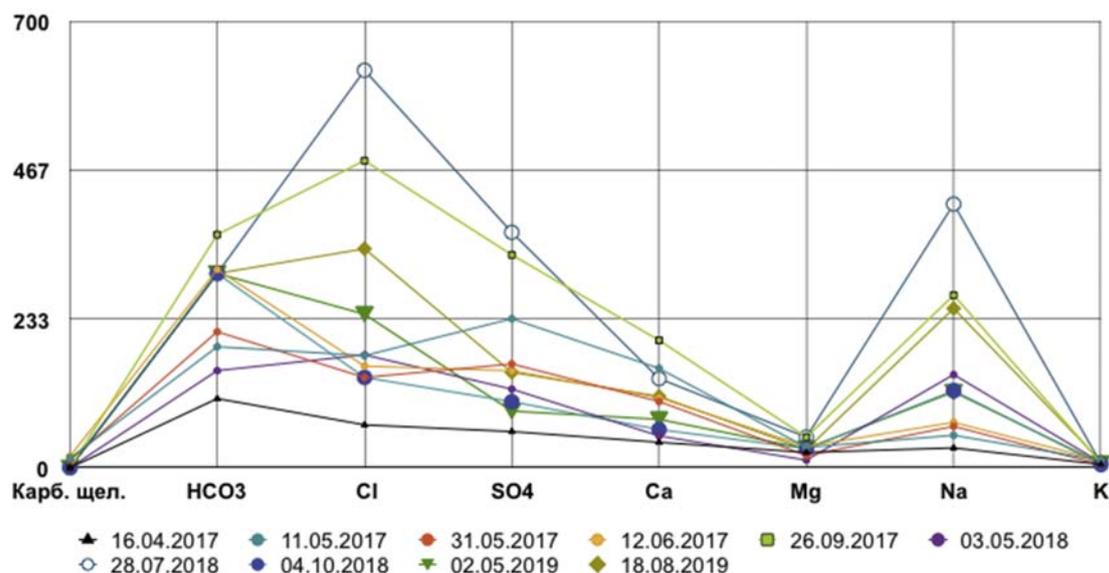


Рис. 4. Внутригодовое варьирование химического состава воды (мг/л) р. Ишня
 Fig. 4. Intra-annual variation of the chemical composition (mg/L) of the Ishnya River

и жесткостью воды [Фортунатов, Московский, 1970; Бикбулатов и др., 2003].

По результатам гидрохимических исследований оз. Неро (табл. 5) нами было установлено, что средняя за период наблюдений минерализация воды составила 449 мг/л. При этом в зависимости от даты отбора ее величина могла различаться в 3 раза. Типичное для пресных водоемов соотношение макрокомпонентов с преобладанием HCO_3^- и Ca^{2+} сохранялось на протяжении большей части периода наблюдений,

однако в отдельные даты отбора это соотношение нарушалось за счет существенного возрастания вклада Cl^- , SO_4^{2-} и Na^+ , что сопровождалось общим увеличением минерализации.

Минимальная величина минерализации (230 мг/л) установлена во время весеннего половодья, а максимальная – в период зимней (671 мг/л) и летней (720 мг/л) межени. Увеличение количества растворенных солей в период низкого стока связано с тем, что водность в это время обеспечивается преимущественно

Таблица 5. Химический состав оз. Неро в период наблюдений 2017–2019 гг.

Table 5. Chemical composition of Lake Nero in 2017–2019

Дата отбора Date of sampling	pH	Карб. щел. Carbonate alkalinity	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Минерализация TDS
		мг/л mg/L								
16.04.2017	6,9	0	122	28	21	33	10	13	3	230
11.05.2017	6,9	0	173	21	55	50	20	12	10	341
31.05.2017	7,3	0	146	85	50	50	20	14	2	367
09.06.2017*	7,0	0	157	35	35	47	10	16	3	303
12.06.2017	6,9	0	163	35	39	53	8	18	4	320
26.09.2017	7,7	90	203	59	40	53	28	46	3	523
10.02.2018	7,3	0	181	240	55	47	22	122	4	671
03.05.2018	7,6	40	178	100	101	50	28	80	2	580
29.07.2018	7,1	40	290	106	90	25	10	157	2	720
04.10.2018	7,2	20	178	30	74	30	12	58	3	405
02.05.2019	8,8	0	203	136	70	53	16	65	2	545
18.08.2019	8,3	0	140	118	21	33	15	49	3	378

Примечание. * Проба отобрана в районе с. Угодичи (точка 8 на рис. 1).

Note. Sample from the Ugodichi area (No 8 in Fig. 1).

грунтовыми и подземными водами повышенной минерализации. Однако увеличение вклада Cl^- , SO_4^{2-} и Na^+ удавалось наблюдать не только в периоды низкого стока. Так, в многоводные фазы причиной этого может служить увеличение доли поверхностного стока с территории водосбора [Корнева и др., 2020].

С помощью корреляционного анализа Спирмена установлена сильная статистически значимая взаимосвязь ($p < 0,05$) минерализации с содержанием ионов HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- и Na^+ ($R = 0,82, 0,75, 0,73$ и $0,90$ соответственно). Взаимосвязь средней силы установлена с величиной pH и CO_3^{2-} ($R < 0,60$). Самое высокое варьирование за период наблюдений испытывали концентрации Cl^- и Na^+ (коэф. вариации – 77 и 86 % соответственно), тогда как значения HCO_3^- и Ca^{2+} отличались меньшей изменчивостью (коэф. вариации – 24 %).

Следует учесть, что наша точка регулярно отбора располагалась близко к береговой линии и в той части озера, которая испытывает сильную рекреационную и антропогенную нагрузку вследствие поступления городских стоков Ростова Великого, поэтому не может быть репрезентативной для целей мониторинга за химическим составом озера. Тем не менее наши наблюдения подтверждают известные в литературе факты о повышенной минерализации оз. Неро, высокой внутригодовой изменчивости его химического состава и значимом вкладе Cl^- , SO_4^{2-} и Na^+ [Крайнер, Студенов, 1959; Фортунатов, Московский, 1970; Бикбулатов и др., 2003; Состояние..., 2008].

Тренды эволюционных изменений почв на фоне глобального потепления

При изучении ландшафтов оз. Неро около 100 лет назад к «усолам» и «усолистым» разностям были отнесены почвы с содержанием солей от 0,3 до 1,0 % [Бернштейн, 1915]. Представленные небольшими одиночными ареалами, приуроченными к слабодренированным депрессиям, засоленные почвы в своем развитии сильно зависят от положения уровня ГВ. Поэтому осушительная мелиорация 1980-х гг. должна была привести к сокращению площадей или полному исчезновению засоленных почв [Матинян и др., 1996]. Однако на фоне современных изменений климата дальнейший прогноз их эволюции оказался плохо предсказуем. Осложняет оценку дальнейшего развития почв и повсеместное забрасывание сельскохозяйственных земель начиная с 1990-х гг., которое привело к ухудшению условий искусственного дренирования

и тем самым могло запустить процесс вторичного засоления почв.

Преобладающей тенденцией в многолетнем распределении средних температур воздуха бассейна Верхней Волги является стабильное повышение среднегодовых значений температуры. В сезонном аспекте основная его доля приходится на зиму и весну. Это привело к повышению температуры воды водоемов и их более раннему очищению ото льда [Литвинов и др., 2012]. В многолетнем изменении суммарных атмосферных осадков основная тенденция связана с их увеличением в целом за год и преимущественно за счет повышения их выпадения в холодное полугодие, зимой и осенью [Литвинов, Законнова, 2014].

Выполненный нами анализ многолетних данных по метеостанции Ростов установил, что в изменении климатических характеристик района исследования за период 1991–2018 гг. в первую очередь отмечается рост средней годовой температуры воздуха на 1,2 °C по сравнению с климатической нормой. Зимы стали теплее, на 10 дней увеличилось количество оттепелей и абсолютный минимум температуры составил –35 °C вместо –40 °C в предыдущие 30 лет. Продолжительность вегетационного периода (с температурой больше 10 °C) увеличилась на неделю, что привело к росту суммы активных температур более чем на 150 °C, а годовая сумма атмосферных осадков увеличилась почти на 20 % от нормы.

Почвы, обследованные нами в 2016–2018 гг., сравнивались попарно со своими ранними аналогами, обследованными в 1984–1991 гг. во время крупномасштабного картографирования и имеющими надежную пространственную привязку. Оценку изменений, произошедших за 30–40-летний временной интервал, характеризующий вторую половину климатического тренда, проводили на примере 9 почвенных разрезов (точки 1, 7, 8, 11, 13–17 на рис. 2). С точки зрения временной динамики почвы раннего периода обследования принимались за нулевую точку отсчета. Все изученные объекты относились к почвам избыточного грунтового увлажнения. Современный уровень ГВ варьировал от 50 до 110 см.

Сравнительный анализ почвенных свойств за два срока наблюдения выполнялся на основе оценки различий по критерию Уилкоксона (табл. 6). Выборки состояли из показателей почвенных свойств, определенных по генетическим горизонтам профиля, и сравнивались попарно.

Статистический анализ установил значимые различия ($p < 0,05$) между первым и вторым пе-

Таблица 6. Результаты оценки значимости различий почв первого и второго обследования по критерию Уилкоксона

Table 6. Results of assessing the significance of differences in soils of the first and second surveys by Wilcoxon signed rank test

Параметр Parameter	Стокс Salinity	EC2.5	Содержание карбонатов Carbonate content	Зольность Ash	pHводн pHwater
Уровень значимости (p) Significance level (p)	0,000	0,000	0,033	0,048	1,00
N	42	42	27*	15**	42

Примечание. *Только для карбонатных почв; **только для торфяных почв.

Note. *Only for carbonate soils; **only for peat soils.

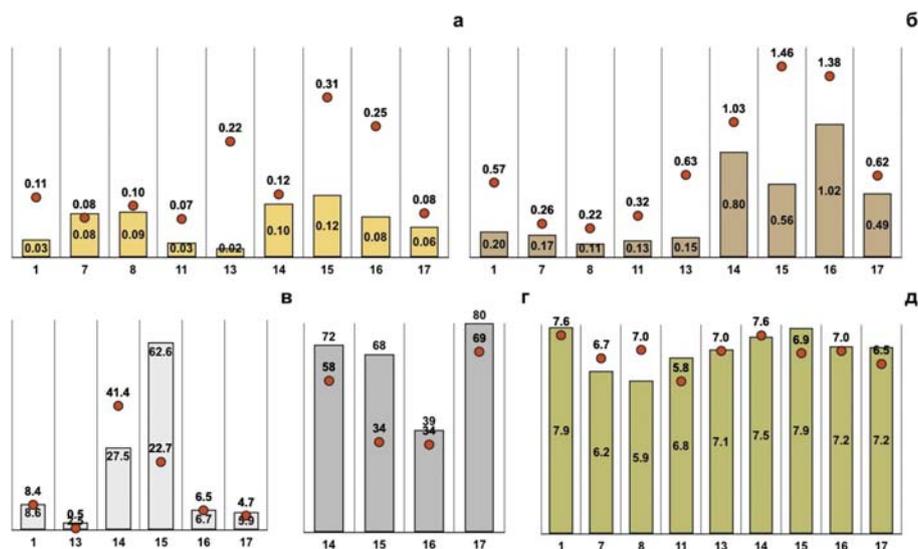


Рис. 5. Сравнение содержания Стокс (%) (а), EC2,5 (дСм/м) (б), карбонатов (в), зольности торфяных почв (г) и pHводн (д) в почвах первого (1984–1991 гг.) и второго (2016–2018 гг.) обследования. Точками показаны значения первого обследования, столбиками – второго обследования. Значения рассчитаны как средневзвешенные на мощность профиля. Номера по оси X соответствуют номерам разрезов на рис. 2

Fig. 5. Comparison of the content of Stox (%) (a), EC2,5 (dS/m) (б), carbonates (в), ash content of peat soils (г), and pHwater (д) in the soils of the first (1984–1991) and second (2016–2018) surveys. The dots show the values of the first survey, the bars – the values of the second survey. The values are calculated as weighted averages for the profile power. The numbers on the X axis correspond to the numbers of the pits in Fig. 2

риодами обследования почв в отношении ряда показателей. На диаграмме сравнения видна четкая тенденция снижения уровня засоления современных почв как по показателю Стокс (рис. 5, а), так и по EC2.5 (рис. 5, б). Так, современные почвы обладают преимущественно слабой степенью засоления или относятся к виду незасоленных согласно классификации почв России [Классификация..., 2004].

В противоположность количеству водорастворимых солей содержание карбонатов в почвах (разрезы карбонатных почв соответствуют

точкам 1, 13–17 на рис. 2) имело тенденцию увеличения (рис. 5, в). Различие этого показателя между обследованиями определено нами как существенное (табл. 6).

На формирование вертикального распределения карбонатов по профилю оказывает влияние соотношение скоростей восходящей и нисходящей миграции богатых кальцием почвенных растворов и вместе с ними – процессов окарбоначивания и выщелачивания. Таким образом, судя по увеличению их содержания, процесс окарбоначивания гидроморфных почв

в последние десятилетия стал протекать интенсивнее. Усиление карбонатакопления не могло не сказаться на зольности торфяных почв (рис. 5, г). Во всех случаях наблюдался ее достоверный рост.

Современной тенденцией гумидного климата в связи с увеличением кислотности атмосферных осадков является повсеместное подкисление почв [Blake et al., 1999; Driscoll et al., 2001; Yang et al., 2012; FAO..., 2015]. Однако на изученном ряду нам не удалось установить единого тренда в отношении почвенной кислотности (рис. 5, д). Например, для карбонатных почв, в числе которых торфяные, оказалось характерным увеличение рНводн. Также здесь важно подчеркнуть, что специфика водного режима рассмотренных почв определяет их отличие от автоморфных почв водоразделов и, следовательно, трендов их эволюции.

В результате резкого сокращения площади обрабатываемых земель в нечерноземных регионах России засоленные почвы Ростовской низины больше не являются серьезной хозяйственной проблемой. Вместе с тем они могут служить индикаторами изменений условий окружающей среды, в том числе изменений температуры и режима увлажнения, и представляют интерес как чувствительные компоненты озерного ландшафта, влияющие на качество поверхностных вод.

Заключение

Генезис засоленных почв Ростовской низины тесно связан с близким залеганием ГВ повышенной солености. Засоление почв приурочено к таким типам рельефа, как плоские обводненные или заболоченные пониженные участки в пределах славодренлируемой части приозерной котловины оз. Неро.

Систематическое рассоление, которому подвергаются почвы в течение года в гумидном климате, приводит к тому, что многие из них по своим базовым свойствам и морфологическим признакам незначительно отличаются от «зональных» гидроморфных почв, поэтому в классификационном положении засоление учитывается на уровне подтипа в отделах органоаккумулятивных, глеевых, торфяных почв.

В почвах заметно выражена тенденция относительного накопления SO_4^{2-} и Ca^{2+} . Более миграционно активные Cl^- и Na^+ и частично SO_4^{2-} и Ca^{2+} , вымываясь из почвенного профиля в фазы повышенной водности, оказываются в водотоках ближайшей гидрографической сети, о чем свидетельствует нетипичный химический состав и повышенная минерализация притоков и самого оз. Неро. Это подчеркивает значение

буферной способности почв для качества поверхностных вод района.

Исследования засоленных почв Ростовской низины, выполненные с целью оценки трансформации, произошедшей за 30–40 лет на фоне потепления климата в бассейне Верхней Волги, показали статистически достоверное снижение уровня засоления, усиление процесса накопления карбонатов, увеличение зольности торфяных почв.

Динамичность свойств и ряд уникальных особенностей приозерных почв имеют важность для оценки изменений условий экосистемы оз. Неро.

Литература

Александровский А. Л. Эволюция почв низких террас озера Неро // Почвоведение. 2011. № 10. С. 1155–1167.

Алешинская З. В. Палеогеографические исследования в районе Рождественской стоянки на озере Неро // Первобытный человек, его материальная культура и природная среда в плейстоцене и голоцене (палеолит и неолит): Тез. докл. М., 1973. С. 111–112.

Алешинская З. В., Гунова В. С. Новейшие отложения и палеогеография оз. Неро // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5, Геогр. 1997. № 1. С. 49–52.

Алешинская З. В., Гунова В. С. Плейстоценовые озера Ростовской котловины и ее окрестностей // История плейстоценовых озер Восточно-Европейской равнины. СПб.: Наука, 1998. С. 345–350.

Базилевич Н. И., Панкова Е. И. Опыт классификации почв по содержанию токсичных солей и ионов // Бюл. Почв. ин-та им. В. В. Докучаева. 1972. Вып. 5. С. 36–40.

Бардин А. В. Ростовское овощеводство. Ярославль, 1938. 89 с.

Бартош Т. Д. Геология и ресурсы пресноводных известковых отложений голоцена: средняя полоса Европейской части СССР. Рига: Зинатне, 1976. 256 с.

Барышева А. А. Бассейн озера Неро (физико-географическая характеристика): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 1953. 15 с.

Бернштейн Б. Л. Огородные земли вокруг Ростовского озера Неро // Вестник Ярославского земства. 1903. № 7–8. С. 226–231.

Бернштейн Б. Л. Почвенно-геологическое описание Ростовского уезда. Ярославль: Статистический отдел Ярославского губернского земства, 1915. 65 с.

Бикбулатов Э. С., Бикбулатова Е. М., Литвинов А. С., Поддубный С. А. Гидрология и гидрохимия озера Неро. Рыбинск: Рыбинский Дом печати, 2003. 192 с.

Великанов Д. А. Почвообразующие условия и почвы Ярославской области // Труды Ярославского с.-х. ин-та. 1957. Т. 4. С. 169–180.

Воробьева Л. А. Химический анализ почв. М.: Изд-во МГУ, 1998. 272 с.

География почв и почвенное районирование центрального экономического района СССР / Ред. Г. В. Добровольский, И. С. Урусевская. М.: Изд-во МГУ, 1972. 469 с.

Гидрогеология СССР. Т. 1. Московская и смежные области / Ред. А. В. Сидоренко. М.: Недра, 1966. 423 с.

ГОСТ 31957-2012 «Вода. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов».

Гунова В. С. История озера Неро по палеоботаническим данным: Автореф. ... дис. канд. геогр. наук. М., 1975. 21 с.

Докучаев В. В. Русский чернозем. Отчет Вольному экономическому обществу. СПб.: тип. Деклерона и Евдокимова, 1883. 376 с.

Законнов В. В., Поздняков Ш. Р., Кондратьев С. А., Игнатъева Н. В., Цветков А. В., Законнова А. В. Эволюционное развитие и современное состояние озера Неро по данным анализа сапропеля // Труды Института биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН. 2020. Вып. 91(94). С. 7–18. doi: 10.47021/0320-3557-2020-7-18

Законнова А. В., Литвинов А. С. Многолетние изменения гидроклиматического режима Рыбинского водохранилища // Труды Института биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН. 2016. Вып. 75(78). С. 16–28. doi: 10.24411/0320-3557-2016-10016

Засоленные почвы России / Ред. Л. Л. Шишов, Е. И. Панкова. М.: Академкнига, 2006. 853 с.

Кичунов Н. И. Ростовское огородничество // Ежегодник Главного Управления Землеустройства и Земледелия по департаменту земледелия. Петербург: Тип. В. Ф. Киршбаума; 1911. С. 288–332.

Классификация и диагностика почв России / Ред. Л. Л. Шишов. Смоленск: Ойкумена; 2004. 342 с.

Константинов Е. А., Рудинская А. И., Лазукова Л. И., Карпущина Н. В., Бричева С. С. Новые данные по истории озера Неро в голоцене // Динамика экосистем в голоцене (к 100-летию Л. Г. Динесмана): Мат-лы V Всерос. науч. конф. (Москва, 11–15 ноября 2019 г.). М., 2019. С. 148–149.

Корнева Л. Г., Митропольская И. В., Сиделев С. И., Соловьева В. В., Сахарова Е. Г., Макарова О. С. Фитопланктон озера Неро в летний период 2017 г. // Труды Института биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН. 2020. Вып. 91(94). С. 61–74. doi: 10.47021/0320-3557-2020-61-73

Крайнер Н. П., Студенов Н. С. Реки и озера // Природа и хозяйство Ярославской области. Ч. I. Природа. Ярославль: Яросл. кн. изд-во, 1959. С. 215–250.

Лазарева В. И., Соколова Е. А. Динамика и фенология зоопланктона крупного равнинного водохранилища: отклик на изменение климата // Успехи современной биологии. 2013. Т. 133, № 6. С. 564–574.

Лазукова Л. И., Константинов Е. А., Вайкутиене Г. Палеоэкология озера Неро в конце позднего плейстоцена и голоцене (по данным диатомового анализа) // Пути эволюционной географии. Вып. 2: Мат. II Всерос. науч. конф., посвящ. памяти проф. А.А. Величка (Москва, 22–25 ноября 2021 г.). М., 2021. С. 176–180.

Литвинов А. С. Экологические условия в озере Неро в XXI веке // Водные ресурсы: новые вызовы и пути решения: Сб. науч. тр., посвящ. Году экологии в России и 50-летию Института водных проблем РАН (Сочи, 02–07 окт. 2017 г.). Новочеркасск, 2017. С. 374–378.

Литвинов А. С. Гидрология озера Неро // Евразийский научный журнал. 2022. № 3. С. 1–5.

Литвинов А. С., Законнова А. В. Экологические условия в Рыбинском водохранилище при потеплении климата // Географический вестник. 2014. № 2(29). С. 41–45.

Литвинов А. С., Пырина И. Л., Законнова А. В., Кучай Л. А., Соколова Е. Н. Изменение термического режима и продуктивности фитопланктона Рыбинского водохранилища в условиях потепления климата // Бассейн Волги в XXI веке: структура и функционирование экосистем водохранилищ: Сб. мат. докл. уч. Всерос. конф. (Борок, 22–26 окт. 2012 г.). Ижевск, 2012. С. 167–169.

Матинян Н. Н., Русаков А. В., Керзум П. П. Основные черты строения почвенного покрова Ярославского Поволжья // Вестник Санкт-Петербургского ун-та. Сер. 3. Биология. 1996. Вып. 1(3). С. 74–86.

Москвитин А. И. Стратиграфия плейстоцена Европейской части СССР. М.: Наука, 1967. 238 с.

Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство)» / Ред. Р. С.-Х. Эдельгериев. Том 2. М.: Издательство МБА, 2019. 476 с.

Новский В. А. Верхний плейстоцен Ярославского Поволжья // Ученые записки ЯГПИ. 1971. Вып. 87. С. 3–48.

Новский В. А. Плейстоцен Ярославского Поволжья. М.: Наука, 1975. 236 с.

Печенин Н. И. Сельскохозяйственные районы Ярославской губернии. Ярославль, 1928. 104 с.

Рохмистров В. Л. Подземные воды Ярославского района // Краеведение. Ученые записки ЯГПИ. 1968. Вып. 71. С. 73–92.

Рохмистров В. Л. Малые реки Ярославского Поволжья. Ярославль: Изд. ВВО РЭА, 2004. 54 с.

Русаков А. В. Закономерности формирования почвенного покрова центра Ярославского Поволжья: Дис. ... канд. биол. наук. СПб., 1993. 300 с.

Симонова Ю. В., Русаков А. В. История и задачи исследования засоленных почв гумидной зоны центра Русской равнины на примере окрестностей Ростова Великого (Ярославская область) // Проблемы истории, методологии и социологии почвоведения: Мат-лы III Всерос. науч. конф. (Пушино, 15–17 ноября 2017 г.). Пушино, 2017. С. 204–206.

Состояние экосистемы озера Неро в начале XXI века / Ред. В. И. Лазарева. М.: Наука, 2008. 406 с.

Труды лаборатории сапропелевых отложений / Ред. В. Н. Сукачев, Н. В. Кордэ. М.: АН СССР, 1956. Вып. VI. 214 с.

Флеров А. Ф. Ботанико-географические очерки. III. Ростовский край // Землеведение. 1903. Т. 10, кн. 2-3. С. 193–218.

Фортунатов М. А., Московский Б. Д. Озера Ярославской области. Кадастровое описание и краткие лимнологические характеристики // Озера Ярославской области и перспективы их хозяйственного использования. Ярославль, 1970. С. 3–183.

Чижиков Н. В. Геоморфология и почвы бассейна озера Неро и реки Устье-Которосль // Труды лабора-

тории сапропелевых отложений. М.: АН СССР, 1956. Вып. VI. С. 130–144.

Babanazarova O. V., Sidelev S. I., Zhdanova S. M., Litvinov A. S., Ovseenko A. S., Korovkina K. P. Water level in a shallow highly eutrophic lake: Development factor by macrophyte or phytoplankton type: Case study of Lake Nero, Yaroslavl Oblast // *Water Resources*. 2018. Vol. 45, no. 6. P. 897–907. doi: 10.1134/S0097807818060027

Blake L., Goulding K. W. T., Mott C. J. B., Johnston A. E. Changes in soil chemistry accompanying acidification over more than 100 years under woodland and grass at Rothamsted Experimental Station, UK // *European Journal of Soil Science*. 1999. Vol. 50, no. 3. P. 401–412. doi: 10.1046/j.1365-2389.1999.00253.x

Driscoll C. T., Lawrence G. B., Bulger A. J., Butler T. J., Cronan C. S., Eagar C., Lambert K. F., Likens G. E., Stoddard J. L., Weathers K. C. Acidic deposition in the Northeastern United States: sources and inputs, ecosystem effects, and management strategies: The effects of acidic deposition in the northeastern United States include the acidification of soil and water, which stresses terrestrial and aquatic biota // *BioScience*. 2001. Vol. 51, no. 3. P. 180–198. doi: 10.1641/0006-3568(2001)051[0180:ADITNU]2.0.CO;2

FAO. Guidelines for soil description, 4th ed. Rome, 2006.

FAO. Handbook for saline soil management. Rome and Moscow: FAO, MSU, 2018.

FAO and ITPS. Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. FAO, Rome, 2015. 608 p.

IPCC. Climate change 2014: synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, 2014.

Oki T., Kanae S. Global hydrological cycles and world water resources // *Science*. 2006. Vol. 313. P. 1068–1072. doi: 10.1126/science.1128845

Sigareva L. E., Timofeeva N. A., Zakonov V. V., Rusanov A. G., Ignatyeva N. V., Pozdnyakov Sh. R. Features of natural eutrophication of shallow Lake Nero based on sedimentary pigments // *Inland Water Biology*. 2019. Vol. 12. P. 33–41. doi: 10.1134/S1995082919060129

Simonova J. V., Rusakov A. V., Popov A. I. Dynamics of soil salinization in the Nero Lake depression (Upper Volga) in connection with the latest climate change // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 438. Art. 012026. doi: 10.1088/1755-1315/438/1/012026

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2021. URL: <https://www.R-project.org/> (дата обращения: 01.06.2022).

Ukraintsev V. Yu., Konstantinov E. A., Zakharov A. L. Drainage changes in the Nero Lake Basin, central European Russia // *Limnology and Freshwater Biology*. 2020. Vol. 4, no. 1. P. 476–477. doi: 10.31951/2658-3518-2020-A-4-476

Vinograd N. A. Formation of mineral and thermal waters of some artesian basins in Russia // *Environ. Geol.* 2004. Vol. 46, no. 5. P. 675–679. doi: 10.1007/s00254-004-1007-2

Yang Y., Ji C., Ma W., Wang S., Wang S., Han W., Mohammad A., Robinson D., Smith P. Significant soil acidification across northern China's grasslands during 1980s–2000s // *Global Change Biology*. 2012. Vol. 18, iss. 7. P. 2292–2300. doi: 10.1111/j.1365-2486.2012.02694.x

References

Alexandrovskii A. L. Soil evolution on the low terraces of Lake Nero. *Eurasian Soil Sci.* 2011;44(10):1055–1067. doi: 10.1134/S1064229311100024

Aleshinskaya Z. V. Paleogeographic studies in the area of the Rozhdestvenskaya site on Lake Nero. *Pervobytnyi chelovek, ego material'naya kul'tura i prirodnyaya sreda v pleistotsene i golotsene (paleolit i neolit): Mat. Vsesoyuz. simp. = Primitive man, his material culture and natural environment in the Pleistocene and Holocene (Paleolithic and Neolithic): Proceed. of the All-Union symp.* Moscow; 1973. P. 111–112. (In Russ.)

Aleshinskaya Z. V., Gunova V. S. Recent deposits and paleogeography of Lake Nero. *Vestnik Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografiya = Moscow University Bulletin. Series 5. Geography.* 1997;1:49–52. (In Russ.)

Aleshinskaya Z. V., Gunova V. S. Pleistocene lakes of the Rostov basin and its environs. *Istoriya pleistotsenovykh ozer Vostochno-Evropeiskoi ravniny = History of the Pleistocene lakes of the East European Plain.* St. Petersburg: Nauka; 1998. P. 345–350. (In Russ.)

Babanazarova O. V., Sidelev S. I., Zhdanova S. M., Litvinov A. S., Ovseenko A. S., Korovkina K. P. Water level in a shallow highly eutrophic lake: Development factor by macrophyte or phytoplankton type: Case study of Lake Nero, Yaroslavl Oblast. *Water Resources*. 2018;45(6):897–907. doi: 10.1134/S0097807818060027

Bardin A. V. Rostov vegetable growing. Yaroslavl; 1938. 89 p. (In Russ.)

Bartosh T. D. Geology and resources of freshwater calcareous deposits of the Holocene: The middle zone of the European part of the USSR. Riga: Zinatne; 1976. 256 p. (In Russ.)

Barysheva A. A. The Lake Nero basin (physical and geographical description): Summary of PhD (Cand. of Geogr.) thesis. Moscow; 1953. 15 p. (In Russ.)

Bazilevich N. I., Pankova E. I. Soil classification by the content of soluble salts and ions. *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V. V. Dokuchaeva = Dokuchaev Soil Bulletin.* 1972; 5:36–40. (In Russ.)

Bernstein B. L. Garden lands around Lake Nero, Rostov. *Vestnik Yaroslavl'skogo zemstva = Bulletin of the Yaroslavl District Council.* 1903;7–8:226–231. (In Russ.)

Bernstein B. L. Soil-geological description of the Rostov District. Yaroslavl: Stat. otdel Yarosl. gub. zemstva; 1915. 65 p. (In Russ.)

Bikbulatov E. S., Bikbulatova E. M., Litvinov A. S., Poddubnyi S. A. Hydrology and hydrochemistry of Lake Nero. Rybinsk: Rybinskii Dom Pechati; 2003. 192 p. (In Russ.)

Blake L., Goulding K. W. T., Mott C. J. B., Johnston A. E. Changes in soil chemistry accompanying acidification over more than 100 years under wood-

land and grass at Rothamsted Experimental Station, UK. *European Journal of Soil Science*. 1999;50(3):401–412. doi: 10.1046/j.1365-2389.1999.00253.x

Chizhikov N. V. Geomorphology and soils of Lake Nero and the Ust'e-Kotorosl' River basin. *Trudy laboratorii sapropelevykh otlozhenii = Transactions of the Lab. of Sapropel Deposits*. 1956;6:130–144. (In Russ.)

Dobrovolskii G. V., Urusevskaya I. S. (eds.). Soil geography and soil zoning of the Central Economic Region of the USSR. Moscow: MSU Publ.; 1972. 469 p. (In Russ.)

Dokuchaev V. V. Russian Chernozem. A report to the Free Economic Society. St. Petersburg: Dekleron and Evdokimov; 1883. 376 p. (In Russ.)

Driscoll C. T., Lawrence G. B., Bulger A. J., Butler T. J., Cronan C. S., Eagar C., Lambert K. F., Likens G. E., Stoddard J. L., Weathers K. C. Acidic deposition in the Northeastern United States: sources and inputs, ecosystem effects, and management strategies: The effects of acidic deposition in the northeastern United States include the acidification of soil and water, which stresses terrestrial and aquatic biota. *BioScience*. 2001;51(3):180–198. doi: 10.1641/0006-3568(2001)051[0180:ADITNU]2.0.CO;2

Edelgeriev R. S.-Kh. (ed.). National Report 'Global climate and soil coverings of Russia: Desertification and land degradation, institutional, infrastructure, technological adaptation measures (agriculture and forestry)'. Vol. 2. Moscow: MBA Publ.; 2019. 476 p. (In Russ.)

FAO. Guidelines for soil description, 4th ed. Rome; 2006.

FAO. Handbook for saline soil management. Rome and Moscow: FAO, Moscow State University; 2018.

FAO and ITPS. Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Rome; 2015. 608 p.

Flerov A. F. Botanical and geographical essays. III. Rostov Region. *Zemlevedenie = Earth Sciences*. 1903;10(2–3):193–218. (In Russ.)

Fortunatov M. A., Moskovskii B. D. Lakes of the Yaroslavl Region. Cadastral description and brief limnological characteristics. *Ozera Yaroslavskoi oblasti i perspektivy ikh khozyaistvennogo ispol'zovaniya = Lakes of the Yaroslavl Region and prospects for their economic use*. 1970. P. 3–183. (In Russ.)

GOST (State Standard) 31957-2012. Water. Methods for determining alkalinity and mass concentration of carbonates and hydrocarbonates. (In Russ.)

Gunova V. S. History of Lake Nero according to paleobotanical data: Summary of PhD (Cand. of Geogr.) thesis. Moscow; 1975. 21 p. (In Russ.)

IPCC. Climate change 2014: synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva; 2014.

Kichunov N. I. Rostov gardening. *Ezhegodnik Glavnogo Upravleniya Zemleustroistva i Zemledeliya po departamentu zemledeliya = Yearbook of the Main Directorate of Land Management and Agriculture for the Department of Agriculture*. St. Petersburg: Printing office V. F. Kirshbaum; 1911. P. 288–332. (In Russ.)

Konstantinov E. A., Rudinskaya A. I., Lazukova L. I., Karpukhina N. V., Bricheva S. S. New data on the history of Lake Nero in the Holocene. *Dinamika ekosistem*

v golotsene (k 100-letiyu L.G. Dinesmana) = Dynamics of ecosystems in the Holocene (to the 100th anniversary of L.G. Dinesman): Abs. of the 5th All-Russian scientific conference (Moscow, Nov. 11–15, 2019). Moscow; 2019. P. 148–149. (In Russ.)

Korneva L. G., Mitropol'skaya I. V., Sidelev S. I., Solov'eva V. V., Sakharova E. G., Makarova O. S. Phytoplankton of Lake Nero in summer 2017. *Tr. Inst. biol. vnutr. vod = Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS*. 2020;91(94):61–74. (In Russ.)

Krainer N. P., Studenov N. S. Lakes and rivers. In: *Nature and economy of the Yaroslavl Region. Part I. Nature*. Yaroslavl: Yaroslavskoe knizhnoe izd-vo; 1959. P. 215–250. (In Russ.)

Lazareva V. I. (ed.). The state of the Lake Nero ecosystem in the early XXI century. Moscow: Nauka; 2008. 408 p. (In Russ.)

Lazareva V. I., Sokolova E. A. Dynamics and phenology of zooplankton in a large plain reservoir: A response to climate changes. *Uspekhi sovremennoi biologii = Biol. Bull. Reviews*. 2013;133(6):564–574. (In Russ.)

Lazukova L. I., Konstantinov E. A., Vaikutiene G. Paleocology of Lake Nero at the end of the Late Pleistocene and Holocene (by diatom analysis). *Puti evolyutsionnoi geografii. Vypusk 2: Mat. II Vseros. nauch. konf., posvyashchennoi pamyati prof. A.A. Velichko (Moskva, 22–25 noyabrya 2021 g.) = Ways of evolutionary geography. Issue 2: Proceed. of the second All-Russian conference in memory of prof. A.A. Velichko (Moscow, Nov. 22–25, 2021)*. Moscow: 2021. P. 176–180. (In Russ.)

Litvinov A. S. Ecological conditions in Lake Nero in the 21st century. *Vodnye resursy: novye vyzovy i puti resheniya: Cb. nauch. tr.: posvyashchaetsya Godu ekologii v Rossii i 50-letiyu Instituta vodnykh problem RAN (Sochi, 02–07 okt. 2017 g.) = Water resources: New challenges and solutions. Proceed. dedicated to the Year of ecology and 50th anniversary of the Institute of Water Problems of RAS (Sochi, Oct. 02–07, 2017)*. Novocherkassk; 2017. P. 374–378. (In Russ.)

Litvinov A. S. Hydrology of Lake Nero. *Evraziiskii nauchnyi zhurnal = Eurasian Scientific Journal*. 2022;3;1–5. (In Russ.)

Litvinov A. S., Pyrina I. L., Zakonnova A. V., Kuchai L. A., Sokolova E. N. Changes in the thermal regime and productivity of phytoplankton in the Rybinsk Reservoir under conditions of climate warming. *Bassein Volgi v XXI-m veke: struktura i funktsionirovanie ekosistem vodokhranilishch: Sb. mat. dokl. uch. Vseros. konf. (Borok, 22–26 okt. 2012 g.) = The Volga Basin in the 21st century: The structure and functioning of reservoirs ecosystems. Proceed. of All-Russian conference (Borok, Oct. 22–26, 2012)*. Izhevsk; 2012. P. 167–169. (In Russ.)

Litvinov A. S., Zakonnova A. V. Ecological conditions in the Rybinsk Reservoir caused by climate warming. *Geogr. Vestn. = Geographical Bulletin*. 2014;2(29): 41–45. (In Russ.)

Matinyan N. N., Rusakov A. V., Kerzum P. P. The main features of the structure of the soil cover of the Yaroslavl Volga region. *Vestnik of St. Petersburg University. Series 3. Biology*. Iss. 1(3). P. 74–86. (In Russ.)

Moskvitin A. I. Pleistocene stratigraphy of the European part of the USSR. Moscow: Nauka; 1967. 238 p. (In Russ.)

Novskii V. A. Upper Pleistocene in the Upper Volga region. *Uchenye zapiski YaGPI = Proceedings of YaSPI*. 1971;87:3–48. (In Russ.)

Novskii V. A. Pleistocene in the Upper Volga region. Moscow: Nauka; 1975. 236 p. (In Russ.)

Oki T., Kanae S. Global hydrological cycles and world water resources. *Science*. 2006;313:1068–1072. doi: 10.1126/science.1128845

Pechenin N. I. Agricultural regions of the Yaroslavl Province. Yaroslavl; 1928. 104 p. (In Russ.)

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2021. URL: <https://www.R-project.org/> (accessed: 01.06.2022).

Rokhmistrov V. L. Groundwaters of the Yaroslavl Region. *Kraevedenie. Uchenye zapiski YaGPI = Local History. Proceedings of YaSPI*. 1968;71:73–92. (In Russ.)

Rokhmistrov V. L. Small rivers of the Yaroslavl Volga region. Yaroslavl: VVO REA; 2004. 54 p. (In Russ.)

Rusakov A. V. Patterns of soil cover formation in the center of the Yaroslavl Volga region: DSc (Cand. of Geogr.) thesis. St. Petersburg; 1993. 300 p. (In Russ.)

Shishov L. L. ed. *Classification and diagnostics of soils in Russia*. Smolensk: Oikumena; 2004. 342 p. (In Russ.)

Shishov L. L., Pankova E. I. (eds.). Salt-affected soils of Russia. Moscow: Akademkniga; 2006. 853 p. (In Russ.)

Sidorenko A. V. (ed.). Hydrogeology of the USSR. Vol. 1. Moscow and adjacent regions. Moscow: Nedra; 1966. 423 p. (In Russ.)

Sigareva L. E., Timofeeva N. A., Zakonov V. V., Rusanov A. G., Ignatyeva N. V., Pozdnyakov Sh. R. Features of natural eutrophication of shallow Lake Nero based on sedimentary pigments. *Inland Water Biology*. 2019;12:33–41. doi: 10.1134/S1995082919060129

Simonova J. V., Rusakov A. V., Popov A. I. Dynamics of soil salinization in the Nero Lake depression (Upper Volga) in connection with the latest climate change. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020;438(1):012026. doi: 10.1088/1755-1315/438/1/012026

Simonova Yu. V., Rusakov A. V. History and objectives of the study of saline soils in the humid zone of

the center of the Russian Plain on the example of the environs of Rostov Velikii (Yaroslavl Region). *Problemy istorii, metodologii i sociologii pochvovedeniya: Materialy III Vseros. nauch. konf. (Pushchino, 15–17 noyabrya 2017 g.) = Problems of history, methodology and sociology of soil science: Proceed. of the 3rd All-Russian conf. (Pushchino, Nov. 15–17, 2017)*. Pushchino; 2017. P. 204–206. (In Russ.)

Sukachev V. N., Korde N. V. (eds.). Transactions of the Laboratory of sapropel deposits. Iss. 6. Moscow: Izd-vo AN SSSR; 1956. 214 p. (In Russ.)

Ukrainsev V. Yu., Konstantinov E. A., Zakharov A. L. Drainage changes in the Lake Nero Basin, central European Russia. *Limnology and Freshwater Biology*. 2020;4: 476–477. doi: 10.31951/2658-3518-2020-A-4-476

Velikanov D. A. Soil-forming conditions and soils of the Yaroslavl Region. *Trudy Yaroslavskogo sel'skokhozyaistvennogo instituta = Transactions of Yaroslavl Agricultural Institute*. 1957;4:169–180. (In Russ.)

Vinograd N. A. Formation of mineral and thermal waters of some artesian basins in Russia. *Environ Geol*. 2004;46(5):675–679. doi: 10.1007/s00254-004-1007-2

Vorob'eva L. A. Chemical analysis of soils. Moscow: MSU Publ.; 1998. 272 p. (In Russ.)

Yang Y., Ji C., Ma W., Wang S., Wang S., Han W., Mohammad A., Robinson D., Smith P. Significant soil acidification across northern China's grasslands during 1980s–2000s. *Global Change Biology*. 2012;18:2292–2300. doi: 10.1111/j.1365-2486.2012.02694.x

Zakonov V. V., Pozdnyakov Sh. R., Kondratiev S. A., Ignatyeva N. V., Tsvetkov A. I., Zakonova A. V. Evolutionary development and current state of Lake Nero according to sapropel analysis. *Tr. Inst. biol. vnutr. vod RAN = Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS*. 2020;91(94):7–18. doi: 10.47021/0320-3557-2020-7-18 (In Russ.)

Zakonova A. V., Litvinov A. S. Long term changes in the hydroclimatic regime of the Rybinsk Reservoir. *Tr. Inst. biol. vnutr. vod RAN = Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS*. 2016;75(78): 16–28. (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 11.06.2022; принята к публикации / accepted: 15.09.2022.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Симонова Юлия Владимировна

ассистент кафедры почвоведения и экологии почв
Института наук о Земле

e-mail: uvsim@yandex.ru

Русаков Алексей Валентинович

д-р геогр. наук, профессор, заведующий кафедрой
почвоведения и экологии почв Института наук о Земле

e-mail: spp-06@mail.ru

Лемешко Наталья Александровна

канд. геогр. наук, доцент кафедры климатологии
и мониторинга окружающей среды Института наук о Земле

e-mail: n.lemeshko@spbu.ru

CONTRIBUTORS:

Simonova, Yuliya

Assistant Lecturer, Soil Science and Soil Ecology Department

Rusakov, Aleksey

Dr. Sci. (Geogr.), Professor, Head of Soil Science and Soil Ecology Department

Lemeshko, Natal'ya

Cand. Sci. (Geogr.), Associate Professor, Climatology and Environmental Monitoring Department, Institute of Earth Sciences