

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И РЕЖИМ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

УДК 551.89

РЕЧНОЕ ПРОШЛОЕ ОЗЕРА СЕЛИГЕР¹

© 2021 г. Е. А. Константинов^{a, *}, А. В. Панин^{a, b}, Н. В. Карпухина^a, С. С. Бричева^{a, c},
О. К. Борисова^a, Н. Н. Нарышкина^a, А. Л. Гуринов^a, А. Л. Захаров^a

^aИнститут географии РАН, Москва, 119017 Россия

^bИнститут водных проблем РАН, Москва, 119333 Россия

^cИнститут водных проблем РАН, Москва, 119234 Россия

*e-mail: eakonst@igras.ru

Поступила в редакцию 19.12.2019 г.

После доработки 17.01.2021 г.

Принята к публикации 30.03.2021 г.

Озеро Селигер традиционно считается бывшим ледниковым водоемом — остатком обширного приледникового озера, существовавшим со времени освобождения территории от последнего ледникового покрова 18–19 тыс. л.н. Внимание привлекли участки южных плесов озера, похожие на подтопленные меандрирующие русла рек. На трех таких участках проведено бурение донных отложений и на двух из них — георадиолокационное профилирование. Установлено, что озерные илы мощностью в несколько метров 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 не проникали на эту территорию. 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. За 2 тыс. лет подпруживание распространилось на весь 15-километровый отрезок долины и достигло истока реки из оз. Селигер. В голоцене рост уровня продолжился, но темпы его снизились. Уровень озера суммарно поднялся на 7–8 м, что вызвало подтопление низовьев впадающих в озеро речных долин и превращение их в эстуарии. Показано, что гляциоизостатические деформации земной коры не были способны реверсировать сток из Селигера в бассейн Балтики. После освобождения от последнего ледника оз. Селигер и его притоки всегда принадлежали бассейну Волги, что следует учитывать при реконструкциях величин стока Волги и водного баланса приемного водоема (Каспия).

Ключевые слова: история озер, палеодолины, донные отложения, позднеледниковье, голоцен.

DOI: 10.31857/S0321059621050114

ВВЕДЕНИЕ

Озеро Селигер — крупнейшее на Валдайской возвышенности, главном водоразделе Восточно-Европейской равнины, разделяющем водосборные бассейны Каспийского, Черного и Балтийского морей. Расположенная в краевой зоне последнего оледенения Валдайская возвышенность имеет типичный послеледниковый рельеф с конечноморенными грядами, камами, озами и моренными западинами. Традиционно проис-

хождение котловины оз. Селигер связывают с гляциальными процессами — ледниковым выпахиванием, неравномерной ледниковой аккумуляцией и воздействием потоков талых ледниковых вод [1, 10, 14, 21, 22, 25]. Главные аргументы в пользу ледниковой гипотезы следующие: 1) высокая изрезанность береговой линии; 2) обилие островов и заливов неправильной, хаотичной формы; 3) наличие ледниковых и водно-ледниковых отложений и форм рельефа в бассейне озера [17]. Конфигурация озерной котловины с ее протяженными плесами иногда связывается с доледниковым рельефом. Согласно материалам [8, 16], озерная депрессия наследует доледниковую длинную сеть, которая открывалась на СЗ и затем оказалась частично погребена в результате ледниковой аккумуляции.

¹ Полевые работы, георадарное исследование, радиоуглеродное датирование, спорово-пыльцевой анализ и геолого-геоморфологический анализ истории развития о. Селигер проводились в рамках проекта РНФ 17-17-01289. Реконструкция направлений послеледникового стока — в рамках проекта РНФ 19-17-00215. Литологические исследования колонок донных отложений выполнены в рамках ГЗ Института географии РАН 0127-2019-0008.



Рис. 1. Картограмма южных плесов оз. Селигер с участками работ. На врезке — обзорная картограмма оз. Селигер и прилегающих территорий.

Вопросы генезиса рельефа дна и берегов Селигерских плесов слабо раскрыты в опубликованной литературе. Внимание исследователей фокусировалось большей частью на изучении формы и размеров островов, а также на измерении длины береговой линии [4, 7, 20]. Между тем в рельефе плесов (рис. 1) выражены черты речной морфологии, труднообъяснимые с позиции имеющихся представлений. Так, обращает на себя внимание вытянутая и регулярно изогнутая плановая форма ряда Селигерских плесов (Селижаровского, Березовского, Сосницкого, Краватынского, Волоховщинского), характерная для речных долин. В рельефе дна Селижаровского, Березовского и Волоховщинского плесов читаются плавно изгибающиеся протяженные ложбины, напоминающие по форме русла рек. У отдельных притоков озера (например, у р. Сороги) наблюдаются воронкообразные устья, которые расширяются в направлении озера, образуя заливы-эстуарии. Не хватает достоверных данных по истории изменений уровня озера в послеледниковое время. Отдельными исследователями стоянок каменного века на берегах Селижаровского плеса высказано мнение о высоком (значительно выше современного) уровне озера в финальном мезолите [5]. Однако на другом берегу озера изучено поселение того же времени (7–8 тыс. л.н.), располагавшееся всего в 1.5–3.0 м над современным уровнем воды [18], что противоречит вышеупомянутой реконструкции.

Следует констатировать, что оз. Селигер недостаточно изучено в палеогеографическом отношении. Нет ясности в отношении генезиса котловины и возраста озера. Отсутствуют достоверные реконструкции истории колебания уровня. Нет объяснения широкого распространения песков под озерными илами [15] и флювиальной морфологии ряда селигерских плесов.

В настоящей статье представлены результаты изучения рельефа и донных отложений южных плесов оз. Селигер. Цель исследования — реконструкция ранних этапов истории озера, определение возраста озера и генезиса рельефа на выбранных участках.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Озеро Селигер представляет собой систему из 24 полуизолированных заливов — так называемых плесов, образующих в плане форму креста. По данным [9, 13], протяженность озера с С на Ю составляет 60 км, с З на В 35 км. Площадь акватории 212 км², средняя глубина 5.8, максимальная 24 м. Площадь водосбора 2310 км². При нормальном уровне (205.48 м) полный объем озера составляет 1.3 км³. Амплитуда колебаний уровня, зафиксированная за период наблюдений, составляет 206 см. В годовом ходе уровня наблюдаются два сопоставимых пика — весенний и осенний. Береговая линия очень извилистая и протяженная, ее длина 528 км. В озере насчитывается >160 остро-

Таблица 1. Радиоуглеродные (AMS) даты по донным осадкам оз. Селигер

№	Лабораторный номер (IGAN _{AMS})	Скважина	Глубина от дна, м	Материал	¹⁴ C дата, л. н. ($\pm 1\sigma$)	Калиброванный возраст, кал. л. н. ($\pm 1\sigma$)
1	6174	RSOR-1	0.6	Растительный детрит	490 \pm 20	520 \pm 10
2	6175	RSOR-1	0.85	Общий органический углерод	2800 \pm 20	2900 \pm 30
3	6176	RSOR-1	1.6	Растительный детрит	10860 \pm 30	12730 \pm 20
4	6184	RSOR-1	1.82	То же	10900 \pm 35	12760 \pm 30
5	6177	ROG-3	4.8–4.83	Общий органический углерод	9855 \pm 30	11250 \pm 20
6	6178	ROG-3	6.12	Растительный детрит	20680 \pm 50	24920 \pm 160
7	6179	ROG-2	0.76	Общий органический углерод	4960 \pm 25	5680 \pm 30
8	6180	ROG-2	0.53–0.63	То же	5750 \pm 50	6550 \pm 60
9	6181	SP-2	3.2–3.25	То же	9510 \pm 30	10850 \pm 130
10	6182	SP-2	4.42	Растительный детрит	11960 \pm 35	13810 \pm 70

вов, крупнейший из которых – о. Хачин. Селигер имеет >100 притоков. Самые крупные притоки – реки Крапивенка, Сорога и Серемуха. Вытекает из оз. Селигер р. Селижаровка, которая в районе пгт Селижарово впадает в Волгу. С середины XX в. озеро испытывает сильную антропогенную нагрузку, которая стала одной из причин перехода озера из олиготрофного состояния в мезотрофное, а в отдельных плесах наблюдаются признаки эвтрофии [2, 10–12].

В январе–марте 2018 г. были проведены полевые работы на трех участках акватории (рис. 1): 1) устье р. Сороги; 2) центральная часть Селижаровского плеса в створе д. Рогожи; 3) южное расширение Селижаровского плеса в районе д. Нижние Котицы. Бурение озерных отложений выполнялось со льда модифицированным поршневым буром Ливингстона [30]. Керны были упакованы на месте в пластиковые контейнеры и транспортированы в лабораторию. Для участков 1 и 2 проведено профилирование георадаром “Питон”. Профили выполнялись в 2–3-кратной повторности со сменой антенн, центральные частоты которых составляли 25, 50 и 100 МГц.

Для образцов из кернов опорных скважин были определены потери при прокаливании (ППП) и магнитная восприимчивость (МВ), а также выполнен спорово-пыльцевой анализ. Определение ППП выполнялось по стандартной методике [23]. ППП 550°C отражают содержание органического вещества, а разница ППП 950–550°C (ППП Δ 950) характеризует потери CO₂ из карбонатов [23, 26]. С целью стратиграфического расчленения отложений и корреляции между кернами выполнено измерение МВ. Этот показатель зависит от концентрации и формы нахождения магнитных частиц в осадке [3, 19], что связано как с источниками поступления материала, так и с биогеохимическими процессами в осадке. Измерение про-

водилось на портативном каппаметре “ZH Instruments SM 30”. При подготовке препаратов для спорово-пыльцевого анализа была использована сепарационная методика В.П. Гричука [6].

Радиоуглеродный анализ выполнялся в ЦКП “Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии” Института географии РАН и центра изотопных исследований Университета Джорджии (США). По валовым образцам озерных илов и растительным макроостаткам получено 10 дат (табл. 1) методом ускорительной масс-спектрометрии (AMS). Калибровка, т.е. приведение ¹⁴C дат к календарной шкале времени, проводилась в программном пакете OxCal 4.3 [24] на основе калибровочной кривой IntCal13 [28]. В тексте статьи и на рисунках к ней приведен календарный (калиброванный) возраст в формате “лет назад”.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Ключевой участок 1

Ключевой участок 1 расположен в широком приустьевом заливе (эстуарии) р. Сороги, которая впадает в Осташковский плес с восточного берега (рис. 2а). Сорога – самая длинная река, впадающая в озеро. По данным [10], ее длина 27 км, площадь водосбора 141.6 км², среднегодовой расход воды 1.26 м³/с, объем годового стока 33.69 млн м³, годовой объем твердого стока, поступающего в озеро в виде наносов, равен 7.94 т. Уклоны реки малые, что в условиях легкоразмываемых берегов позволяет реке интенсивно мандрироваться. В нижнем течении Сороги ширина русла заметно возрастает (с 5 до 40 м), а излучины значительно укрупняются. Эстуарий Сороги имеет протяженность 1.7 км и переменную ширину – от 80 до 360 м. Конфигурация в плане видна четко с ритмичным чередованием расширений и суже-

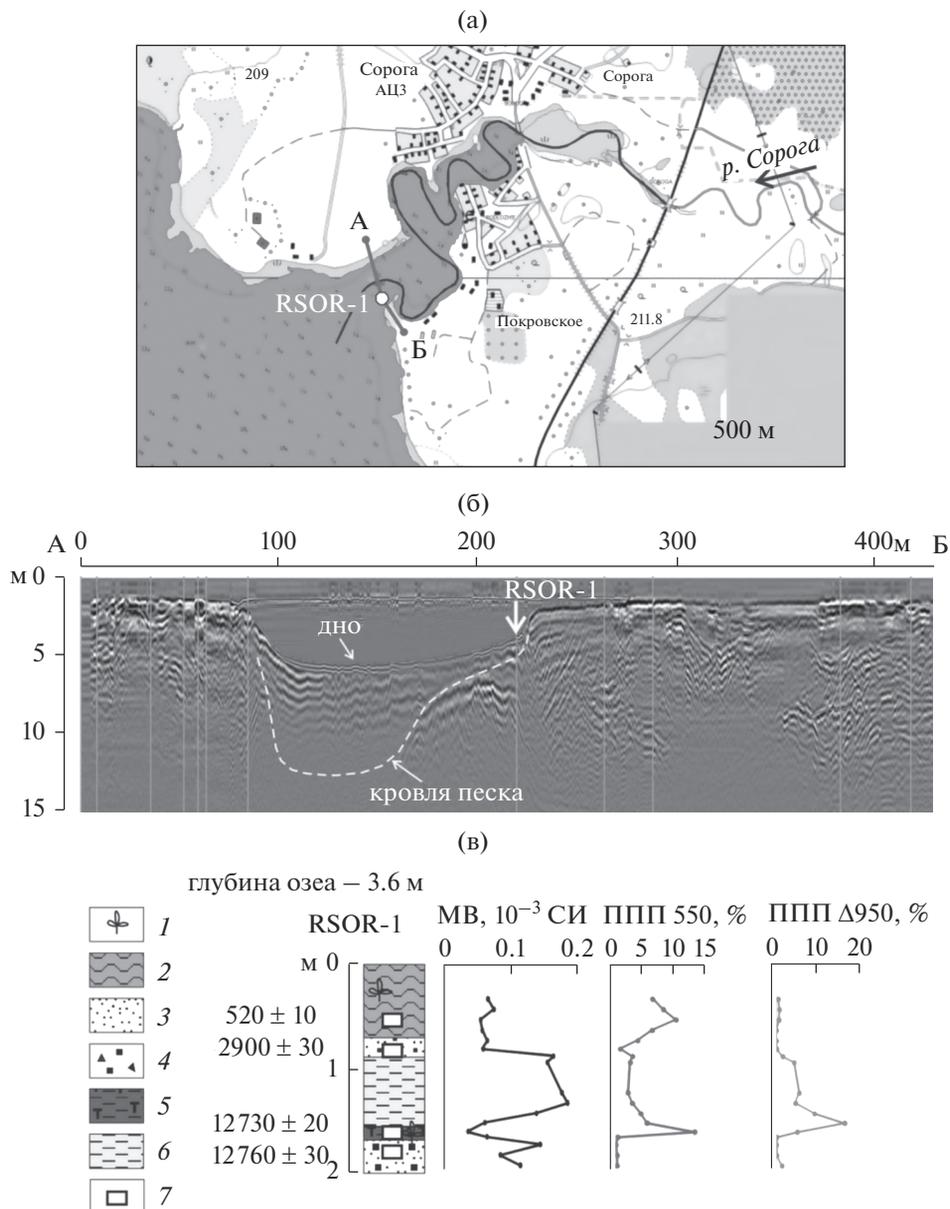


Рис. 2. Участок 1 “Сорога”. а – картосхема приустьевой зоны р. Сорога, линия А–Б – георадарный профиль, белый круг – скважина RSOR-1, извилистая линия – предполагаемое положение затопленного русла р. Сорога; б – георадарный профиль, антенна частотой 100 МГц; в – литологическая колонка скважины RSOR-1 с результатами анализов: МВ – магнитная восприимчивость, ППП – потери при прокаливании; 1 – растительный детрит, 2 – органо-минеральный ил (гиттия), 3 – песок, 4 – гравий и дресва; 5 – оторфованный суглинок, 6 – минеральный ил (озерный суглинок), 7 – места отбора образцов на радиоуглеродный анализ. Даты приведены к календарной шкале времени в формате “среднее ± σ” лет назад (отсчет от 1950 г.).

ний. Береговая линия представляет собой серию закругленных карманов. Глубина эстуария меняется от 0.5 до 7 м, в среднем 2–4 м. Рельеф дна дифференцирован. Участки максимальных глубин тяготеют к вогнутым берегам, вдоль которых проходит плавно изогнутая по форме берега ложбина. К выпуклым берегам приурочены участки мелководья.

На данном участке был заложен один георадарный профиль, пересекающий эстуарий в его нижней части – на выходе в Осташковский плес (рис. 2б). Здесь эстуарий сужается, ширина между берегами составляет 250 м. Профиль также захватывает участки южного (низкого) и северного (высокого) берегов. Общая длина профиля составила 430 м. На линии профиля имеется одна буровая скважина RSOR-1.

Скважина RSOR-1 пробурена в 15 м от южного низкого берега, заросшего тростником. Глубина озера в точке бурения 3.6 м. Общая длина полученного керна – 2 м. Скважина вскрыла 5 слоев донных отложений (рис. 2в): 1) 0.0–0.7 м – сапропель; 2) 0.7–0.9 м – песок мелкий; 3) 0.9–1.6 м – серый озерный суглинок; 4) 1.6–1.65 м – прослой, насыщенный слабообразовавшимися растительными остатками; 5) 1.65–2.0 м – песок разнозернистый, местами с гравием, мелкий и слоистый сверху и крупный с гравием внизу.

Из слоев 4 и 5 получены радиоуглеродные даты по растительному детриту, которые указывают на то, что завершение накопления нижней пачки песков приходится на время 12.7 тыс. л.н. Верхний прослой песка и покровный сапропель сформировались за последние 3 тыс. лет. Наличие верхнего песчаного прослоя может указывать на прохождение крупного паводка и эрозию верхней части донных осадков на этом участке.

При анализе радарограммы обнаружена асимметрия поперечного профиля (рис. 2б). К высокому северному берегу тяготеет ложбина, которая практически полностью заполнена наносами. По аналогии со скважиной RSOR-1, эти наносы, вероятно, представлены органоминеральным илом, под которым залегает толща песка. Ширина ложбины 50–70 м, кровля песка в тальвеге ложбины имеет глубину 10–12 м ниже уреза озера (н.у.о.). Южный подводный береговой склон пологий, он образует ступень, где кровля песка поднимается до 5–7 м н.у.о. На этой ступени и расположена скважина RSOR-1.

Результаты литологического анализа керна скважины RSOR-1 (рис. 2в) согласуются с выделенными при описании слоями. Слои 1 и 4 обогащены органикой (до 10–15%), но имеют низкие показатели МВ. Слой 4 имеет повышенное значение ППП Δ950, что указывает на присутствие карбонатов. Слой 3 имеет высокие значения МВ при низком содержании органики и карбонатов. Залегаящий в основании слой 5 имеет низкие значения по всем показателям, что говорит о его силикатном составе и терригенной природе.

Ключевой участок 2

Ключевой участок 2 расположен в акватории Селижаровского плеса в створе д. Рогожи (рис. 3а). Плес на участке профиля имеет ширину 700 м. Восточный берег, на котором расположена д. Рогожа, – высокий и вогнутый в плане, западный – низкий и выпуклый в плане. Промеры глубин показали, что максимальные глубины (3.5–4.0 м) тяготеют к центральной и восточной частям профиля. Результаты бурения (рис. 3в) показали, что максимальные мощности (>4 м) сапропеля тяготеют к восточному берегу

(скв. ROG-3). Под сапропелем вскрываются минеральные серые суглинки мощностью 1.8 м. Ниже суглинков залегает грубый песок с гравием. В скважинах ROG-1 и ROG-2 мощность озерных осадков существенно сокращается – до 1.0–1.5 м. Кровля песка расположена значительно выше. По данным радиоуглеродного датирования, переход от суглинков к сапропелям происходит в самом начале голоцена – после 11.3 тыс. л.н. Серый суглинок, залегающий под сапропелем, формировался в позднеледниковье. Дата 24000 ± 920 кал. л.н., полученная по растительному детриту из песков в низах скважины ROG-3, не отражает реального возраста вмещающих песков. Полученная дата приходится на этап, когда Селигер перекрывался ледником, или непосредственно перед этим. Вероятно, датированные растительные остатки были переотложены из более древних отложений при их послеледниковом размыве.

На радарограмме (рис. 3б) отчетливо прослеживаются две границы: дно и кровля песка. Рельеф кровли песка указывает на наличие крупной погребенной ложбины, протягивающейся вдоль восточного берега. Ширина ложбины составляет 200–230 м, глубина под урезом озера ~10 м. К 3 от ложбины в районе скважины ROG-2 наблюдается вал шириной ~80 м. Кровля песка в верхней точке вала поднимается до 5 м н.у.о. За валом в направлении западного берега кровля песка продолжает плавно подниматься до 3–4 м. Рельеф кровли песка напоминает типичный профиль днища долины равнинной реки. Ложбина у крутого выпуклого берега соответствует руслу палеореки, вал в приречной части низкого берега – прирусловой вал, за валом – древняя пойма.

Ключевой участок 3

Ключевой участок 3 (рис. 4) расположен в южном расширении Селижаровского плеса – Нижнекотлицком заливе. Ширина залива составляет 1.6 км при длине 2.9 км. Из юго-западной части залива вытекает р. Селижаровка, а в юго-восточную часть впадает р. Крапивенка – крупнейший приток Селигера. Устье Крапивенки представлено клювовидной дельтой размерами 900 м на 800 м. В заливе насчитывается 5–6 островов. Средние глубины залива 2.5–3.0, максимальные 4 м. Скважина SP-2 расположена в центральной части залива, где зафиксирована глубина 3.65 м (рис. 1).

Длина керна скважины SP-2 составляет 5 м (рис. 4). В керне выделено 3 слоя: 1) 0.0–3.5 м – сапропель; 2) 3.5–4.5 м – серый озерный суглинок; 3) 4.5–5.0 м – песок мелкий и средний. Верхний сапропелевый слой (1) богат органическим веществом – до 58%. При этом в нем отсутствуют карбонаты и отмечаются низкие значения МВ. Суглинок слоя 2 характеризуется высокими зна-

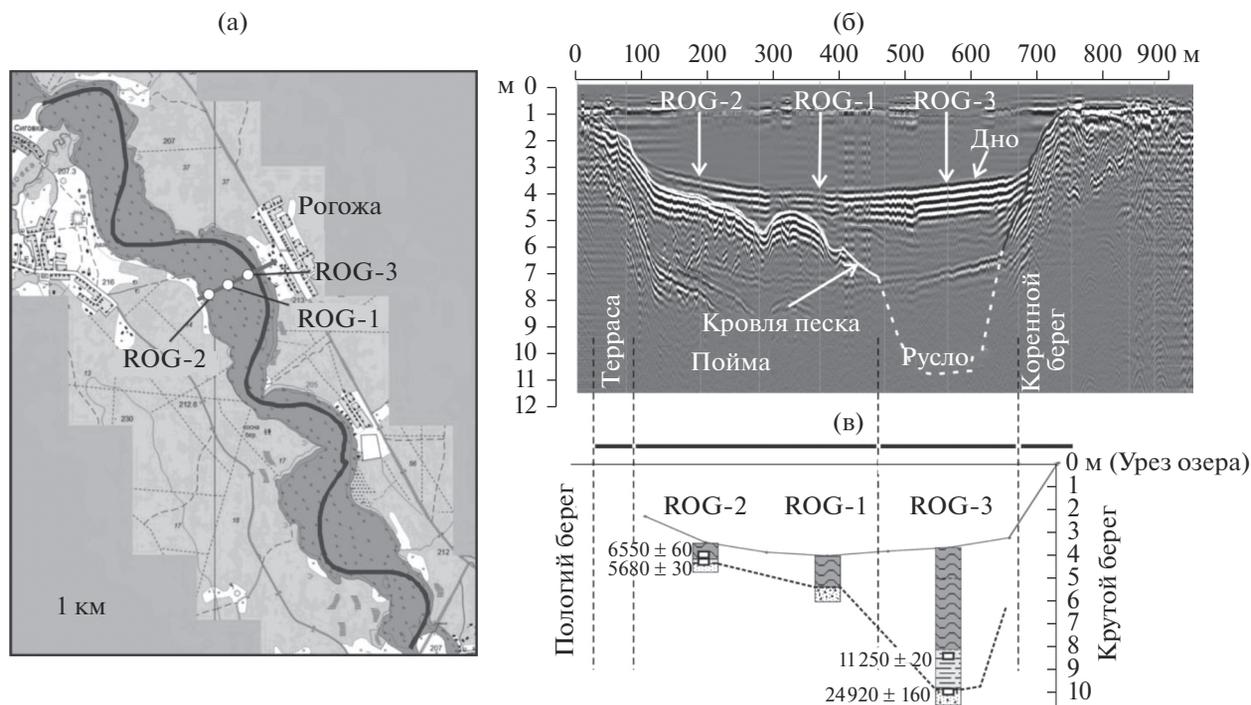


Рис. 3. Участок 2 “Рогожа”. а – карта участка работ, извилистая линия – предполагаемое положение затопленного русла р. Сорочи. б – георадарный профиль, антенна частотой 50 МГц; в – буровой профиль.

чениями ППП $\Delta 950$ (до 25%), что говорит о значительной доле карбонатов в осадке. В нижней части слоя 2 выделяется аномально высокий пик МВ. Пески слоя 3, залегающие в основании разреза, характеризуются низкими значениями всех измеренных показателей, что говорит об их силикатном составе и терригенной природе.

Для нижней части керна SP-2 проведен спорово-пыльцевой анализ (рис. 5). Пыльцевая диаграмма отражает развитие растительности на окружающей водоем территории с начала позднеледниковья до бореальной эпохи голоцена. На ней отчетливо прослеживаются все холодные стадии позднеледниковья, разделенные теплыми интерстадиями: ранний дриас (DR-I), бёллинг (BØ), средний дриас (DR-II), аллерёд (AL) и поздний дриас (DR-III). При этом временные границы этапов климатостратиграфической шкалы Блitta–Сернандера в целом соответствуют границам локальных пыльцевых зон, выделенных на диаграмме и подтвержденных анализом статистического сходства пыльцевых спектров по программе CONISS из специализированного пакета TILIA.

В позднеледниковье содержание пыльцы травянистых растений в общем составе спектров достигает 40% в холодные и относительно сухие стадии и снижается до 15–20% во время интерстадиальных потеплений бёллинг и аллерёд. В составе пыльцы трав и кустарничков наибольших содержаний достигает пыльца полыней (*Artemisia*),

представителей семейств осоковых, маревых и злаков. Кроме этого, отмечено присутствие пыльцы гелиофильных растений (*Helianthemum* sp., *Hippophaë rhamnoides*), а также ксерофитов (*Ephedra*) и гипоарктоальпийского вида плауника *Selaginella selaginoides*. В составе древесных пород преобладает пыльца сосны и березы. Бёллингу и аллерёду соответствует хорошо выраженный “нижний максимум ели” (до 40% суммы пыльцы наземных растений), который, как и более плавный пик пыльцы сосны, разделен на две части спадом, соответствующим среднему дриасу. Такое отчетливое проявление этого кратковременного похолодания (<400 лет) крайне редко прослеживается по палинологическим данным и заслуживает особого внимания.

В колонке SP-2 этому холодному и относительно сухому интервалу отвечает наибольшее содержание и морфологическое разнообразие пыльцы полыней и рост содержания пыльцы берез. Потепление в аллерёде, помимо увеличения роли еловых лесов, отмечено появлением единичных пыльцевых зерен широколиственных пород дуба (*Quercus*, *Ulmus*, *Tilia*). Возможно, в это время данные породы еще не достигли окрестностей оз. Селигер в процессе расселения из рефугиумов ледникового времени, однако границы их ареалов должны были существенно приблизиться к этому району. Пыльца лещины (*Corylus*), напротив, встречается в течение всего позднелед-

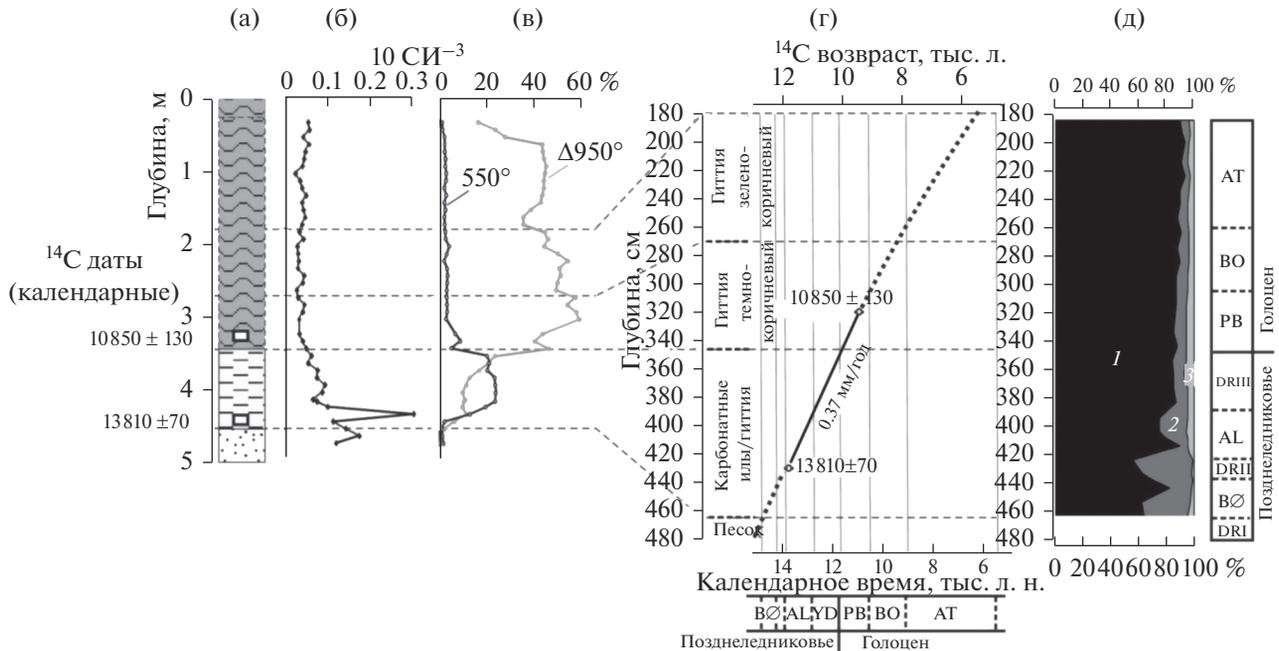


Рис. 4. Строение озерных отложений в скважине SP-2 (участок 3, глубина озера 3.65 м): а – литологическая колонка (условные обозначения – на рис. 2), б – магнитная восприимчивость, в – потери при прокаливании, г – состав спорово-пыльцевых спектров, д – структура спорово-пыльцевых спектров: 1 – пыльца деревьев, 2 – пыльца трав и кустарников, 3 – споры. Климатические периоды: DR1 (OD) – ранний дриас, BØ – бёллинг, DR2(MD) – средний дриас, AL – аллерёд, DR3 (YD) – поздний дриас.

никовья в большем количестве, чем в раннем голоцене, и в ее распределении в этот период нет связи с этапами потеплений. Этот факт, а также присутствие единичных пыльцевых зерен граба дают основание предполагать, что пыльца лещины здесь переотложена из осадков микулинского межледниковья, для которых характерны ее огромные содержания. Похолоданию позднего дриаса соответствуют наиболее высокие по разрезу содержания пыльцы березы (до 60% суммы пыльцы наземных растений), снижение доли пыльцы сосны и почти полное отсутствие пыльцы ели. Как и в среднем дриасе, довольно высокие содержания пыльцы ивы (до 10% суммы пыльцы деревьев и кустарников), встречается пыльца кустарниковой ольхи (*Alnaster*).

Началу голоцена соответствует появление широколиственных пород, прежде всего вяза (*Ulmus*), в составе березовых и сосновых лесов. Позднее происходит постепенное распространение дуба и липы, богаче становится состав подлеска (отмечена пыльца лещины (*Corylus*), бузины (*Sambucus*), калины (*Viburnum*)). Среди травянистых растений преобладают злаки и осоковые, возрастает разнообразие мезофильного разнотравья, встречается пыльца верескоцветных кустарничков, споры сфагновых мхов, обильны споры папоротников. Тем не менее в слоях раннего голоцена присутствует пыльца ксерофильных рас-

тений – хвойника (*Ephedra*) и представителей семейства молочайных (*Euphorbiaceae*), что, вероятно, свидетельствует об относительно сухом и теплом лете и о широком развитии песчаных почв. Пыльца водных и прибрежных растений (рогоза, ежеголовки) встречается в небольшом количестве, однако интересно отметить, что уже в самом начале позднеледниковья в озере обитали кубышки (*Nuphar*) и кувшинки (*Nymphaea*), что говорит о достаточном прогревании воды в летний сезон.

В целом, полученные данные позволяют заключить, что лесные сообщества (редколесья, а затем и северотаежные леса) впервые появились на данной территории уже во время потеплений позднеледниковья – бёллинг и аллерёд. Современный облик растительности начал складываться здесь в раннем голоцене (пребореал/бореал) и окончательно сформировался к середине атлантического времени. Климатостратиграфические построения по палинологическим данным хорошо соответствуют радиоуглеродной хронологии и подтверждают ее надежность. Радиоуглеродные даты (табл. 1) и биостратиграфические данные позволяют заключить, что вскрытые скважиной отложения накапливались непрерывно в течение позднеледниковья и голоцена. Экстраполируя возрастные определения по двум имеющимся радиоуглеродным датам, получаем, что кровля

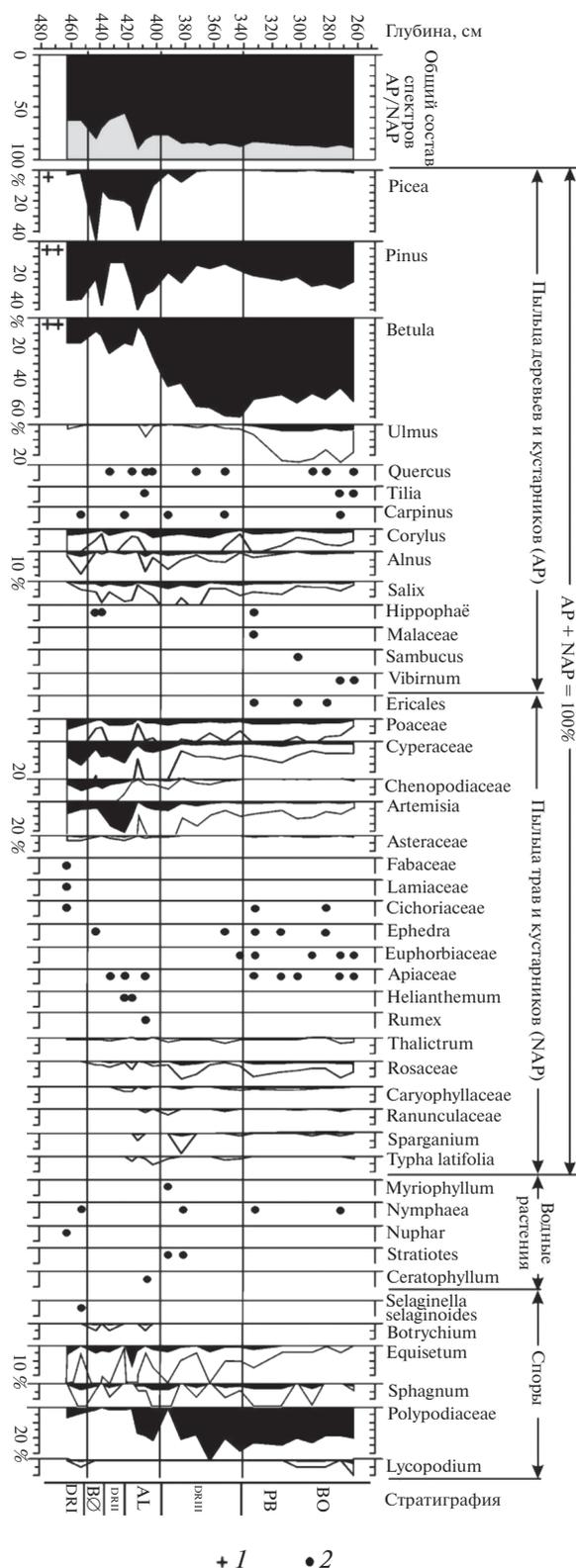


Рис. 5. Спорово-пыльцевая диаграмма для нижней части ядра SP-2. 1 – единичные находки пыльцевых зерен; 2 – пыльца и споры в количестве <%; дополнительные кривые приведены с увеличением в 5 раз.

песка соответствует хронологическому уровню ~14,5 тыс. л.н., а подошва сапропеля – 11,7 тыс. л.н. (рис. 4г).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Во всех скважинах на дне озера обнаружены 1–3-метровые, а в отдельных случаях 6-метровые озерные илы. Верхняя часть ила имеет темно-серый цвет (иногда с зеленоватым оттенком) благодаря обогащению органическим веществом (30–60%). Это голоценовый сапропель (гиттия). Нижние слои ила во многих скважинах имеют светло-серый или сине-серый цвет, так как они содержат мало (3–10%) органического вещества. Это признак образования осадка в холодном климате – в конце последней ледниковой эпохи. Везде под илом встречаются грубые пески, транспорт которых предполагает достаточно высокие скорости течения воды. Есть основания полагать, что это речной русловой аллювий, а не отложения потоков талых ледниковых вод. Во-первых, в очертах эстуария как эстуария меандрирующей р. Сороги, так и узкого Селижаровского Пlesa отчетливо прослеживаются регулярные изгибы, напоминающие меандрирующее русло (рис. 2а, 3а). На изученных участках поперек таких изгибов кровля песков обнаруживает характерный асимметричный профиль с наибольшими глубинами ближе к вогнутому берегу (рис. 2б, 3б). Это типично для речных излучин: линия наибольших глубин прижата к вогнутому берегу. Во-вторых, в кровле песка на профилях прослеживается более высокая поверхность во внутренней части изгиба, которую можно интерпретировать как прирусловую отмель (побочень), переходящую в пойму (рис. 2б, 3б). В-третьих, торфяной прослой над песком в скважине RSOR-1 (рис. 2) указывает на этап развития в субэральном режиме (т.е. на открытом воздухе, а не под водой), который был бы невозможен, если бы гипотетически существовавшее большое приледниковое озеро просто плавно снижало уровень.

Таким образом, есть основания полагать, что Селижаровский плес и эстуарий р. Сороги – затопленные участки речных долин. Прекращение речного стока произошло вследствие подпора, вызванного поднятием уровня воды в озере. Исходя из высотного положения погребенных ила и затопленных палеорусел на участках 1 и 2 (рис. 2б, 3б) величину подъема уровня озера можно оценить в 7–8 м. Смена речного режима на озерный геологически выражена сменой речных песков озерными илами. Согласно радиоуглеродным датам (рис. 4) и данным палинологии (рис. 5), на южном окончании Селижаровского плеса эта смена произошла на этапе перехода от стадияла (холодной климатической осцилляции) ранний дриас (DR1) к интерстадиалу (теплой климатиче-

ской осцилляции) бёллинг (ВØ). Следовательно, ~14.5 тыс. л. н. уровень озера поднялся выше отметки 197.4 м абс. Даты на границе песков и озерных илов в эстуарии р. Сороги (рис. 2в) указывают на то, что после 12.7 тыс. л.н. уровень воды превысил отметку 200.3 м абс. Это означает, что за ~2 тыс. лет подпруживание распространилось на весь 15-километровый отрезок долины и достигло истока реки из оз. Селигер. А уровня древней поймы на участке 2 (201.5 м. абс.) озеро достигло ~ 6 тыс. л.н. Во второй половине голоцена уровень воды в озере медленно поднимался вплоть до современных отметок (рис. 6).

В чем же причина трансформации речной системы в озерную? Гипотетически представляются возможными два сценария.

Во-первых, могли происходить общее изменение направления стока и миграция главного водораздела в результате гляциоизостатических деформаций — подъема земной поверхности — в результате освобождения от ледниковой нагрузки. Скорость и общая величина этого подъема в послеледниковое время нарастала к СЗ в сторону Ботнического залива Балтийского моря, где толщина ледника и, следовательно, нагрузка на земную кору были максимальными. Поэтому при послеледниковом поднятии происходил перекося земной поверхности к ЮВ. Если речной сток в позднеледниковье был направлен на С в бассейн р. Полы, то такой перекося, направленный против течения, теоретически мог вызвать падение уклонов до нулевых значений и подпруживание части речной системы. Однако градиенты такого перекося слишком малы, чтобы обеспечить эффект подпруживания, а специально проведенное полевое обследование в районах возможного перетока вод к СЗ следов такого перетока не обнаружило. Таким образом, данный сценарий представляется маловероятным.

Во-вторых, поднятие уровня Селигера могло происходить из-за подпруживания долины р. Селижаровки, изначально вытекавшей из Селигера в районе г. Осташкова, естественной дамбой в районе д. Нижние Котицы. Данный сценарий предполагает, что в позднеледниковье сток по будущему Селижаровскому плесу был направлен, как и в настоящее время, в бассейн Волги. На вероятное подпруживание долины в районе д. Нижние Котицы указывают приведенные ниже признаки.

1. На продольном профиле озерного и речного дна от Осташкова до пгт Селижарово читается пологий вал в районе Нижних Котиц, выше которого расположен широкий и мелководный Нижнекотичский залив, а ниже — исток р. Селижаровки.

2. Устье р. Крапивенки представлено относительно крупной клювовидной дельтой, вдающейся в Нижнекотичский залив с ЮВ, что указывает

на активную аккумуляцию речных наносов в заливе.

3. В долине среднего течения р. Крапивенки по космическим снимкам читаются следы крупных разветвленных русел, которые могут указывать на большие объемы стока в прошлом. Высокий сток мог обеспечивать интенсивное поступление наносов, за счет которого при низких уклонах формировалась внутренняя дельта. Большие величины климатического (не ледникового) речного стока в бассейне Волги и в целом в центральной части Русской равнины в позднеледниковье установлены ранее в [27, 29].

4. Западное побережье Нижнекотичского залива имеет признаки аллювиально-дельтовой аккумуляции — низменное заболоченное пространство с наличием брошенных меандрирующих русел, дешифрируемых на космических снимках. Дельта расположена в устье относительно крупной (ширина до 200 м, глубина 10–15 м) долины с частично заболоченным днищем. В настоящее время по долине протекает ручей, берущий начало у д. Спицино. Вероятно, дельта имеет реликтовую природу и связана с этапами высокого стока по долине.

Таким образом, можно предположить, что палеодолина р. Селижаровки была перегорожена крупными конусами выноса (внутренними дельтами) р. Крапивенки и реки, впадавшей с СЗ в Нижнекотичский залив. Максимальные темпы роста аллювиальной дамбы (и уровня озера) пришлись на позднеледниковье и начало голоцена (рис. 6). Вероятно, это было связано с этапом высокого стока по долинам рек, поставившим большие объемы наносов в низину Нижнекотичского залива. Во второй половине голоцена темпы поступления наносов снизились и рост высоты аллювиальной дамбы замедлился. Уровень озера с момента его формирования постоянно поднимался, поэтому сценарий более высокого, чем сейчас, стояния озера в эпоху мезолита [5] подтверждения не находит.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Озеро Селигер на отдельных участках (наиболее крупный из них — Селижаровский плес) представляет собой затопленную систему речных долин. Трансформация речной системы в озерную произошла в последнее позднеледниковье — в период потепления бёллинг—аллерёд (14.5–12.5 тыс. л. н.). Подъем уровня воды в озере происходил на протяжении позднеледниковья и голоцена и составил суммарно 7–8 м. Максимальные темпы роста уровня озера пришлись на позднеледниковье и начало голоцена. Вероятной причиной превращения речной системы в озеро стало аллювиальное подпруживание палеодолины р. Селижаров-

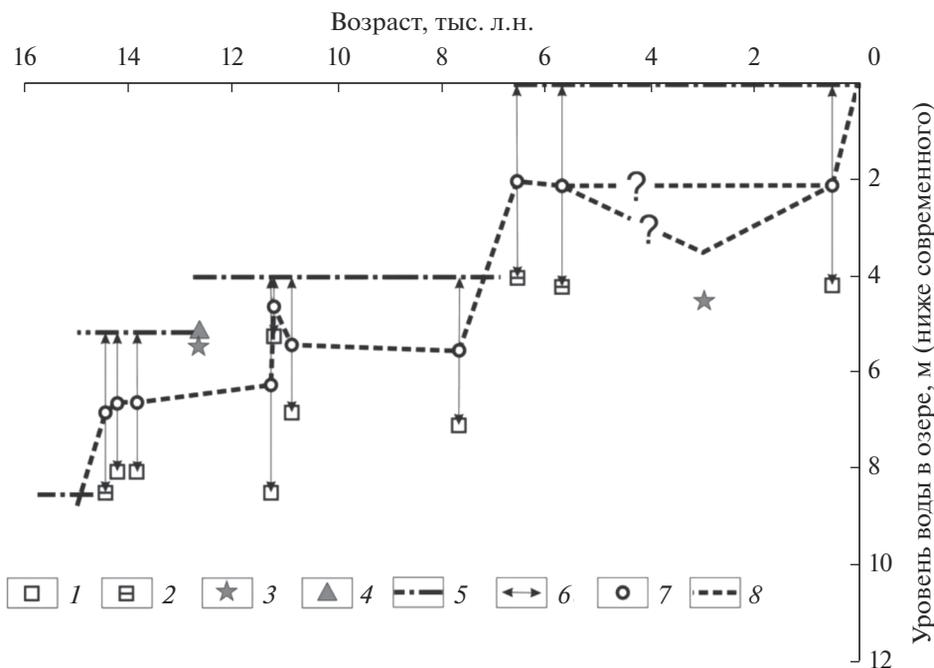


Рис. 6. Изменение уровня воды в системе оз. Селигер за последние 14,5 тыс. лет. Кривая построена на основе совмещения результатов фациального анализа и радиоуглеродного датирования отложений. 1 — озерный ил, 2 — подошва озерных илов, 3 — речной песок, 4 — торф, 5 — максимальный вероятный средний уровень воды, 6 — интервал неопределенности, 7 — средняя точка интервала неопределенности, 8 — кривая изменения среднего многолетнего уровня воды.

ки крупными конусами (внутренними дельтами), формировавшимися за счет интенсивного поступления наносов из долин ее двух притоков — р. Крапивенки и ручья без названия, берущего начало у д. Спицино. После освобождения территории от последнего ледника сток из бассейна о. Селигер всегда направлялся в бассейн Волги, что следует учитывать при реконструкциях величин ее стока и водного баланса приемного водоема (Каспия).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анучин Д.Н.* Озера области истоков Волги и верховьев Западной Двины. М.: Т-во "Типография А.И. Мамонтова", 1898. 56 с.
2. *Бреховских Б.Ф., Волкова З.В., Золотарев Н.С.* Современное экологическое состояние озера Селигер // *Вод. ресурсы.* 1997. Т. 24. № 3. С. 344–351.
3. *Большаков В. А.* Использование методов магнетизма горных пород при изучении новейших отложений. М.: ГЕОС, 1996. 192 с.
4. *Бурмистров И.Ф.* Морфологическая и гидрохимическая характеристика озера Селигер // *Озеро Селигер и его рыбные ресурсы.* Калинин, 1963. С. 15–36.
5. *Верецагина И.В.* Поселения южного побережья Селижаровского плеса оз. Селигер // *Каменный век Верхневолжского региона.* Вып. 2. СПб.: ИИМК РАН, 1997. С. 63–105.
6. *Гричук В.П., Заклинская Е.Д.* Анализ ископаемых пыльцы и спор и его применение в палеогеографии. М.: ОГИЗ, ГЕОГРАФИЗ, 1948. 224 с.
7. *Дорофеев А.А.* К вопросу о классификации островов озера Селигер // *Географ. вестн.* 2013. Т. 2 (25). С. 110–122.
8. *Квасов Д.Д.* Позднечетвертичная история крупных озер и внутренних морей Восточной Европы. Л.: Наука, 1975. 278 с.
9. *Коновалова Н.И.* Озеро Селигер // *Вопр. географии.* М., 1951. Сб. 26. Гидрология. С. 267–274.
10. *Косов В.И., Косова И.В.* Экология озера Селигер. Тверь: Булат, 2001. 344 с.
11. *Косов В.И., Косова И.В., Левинский В.В. и др.* Исследование распределения тяжелых металлов в донных отложениях оз. Селигер // *Вод. ресурсы.* 2004. Т. 31. № 1. С. 51–59.
12. *Леонов А.В., Шапоренко С.И., Шилькрот Г.С., Ясинский С.В.* Геоэкологическая характеристика озера Селигер // *Вод. ресурсы.* 2002. Т. 29. № 2. С. 152–167.
13. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т. 1. Вып. 23. Ч. 1. 1986. 628 с.
14. *Никитин С.Н.* Бассейн Волги (Исследования Гидрогеологического отдела 1894–1898 гг.) // *Тр. экспедиции для исследования источников главнейших рек Европейской России, издаваемые Начальником Экспедиции, Генерал-Лейтенантом А.А. Тилло.* СПб.: Типо-литогр. К. Биркендельфа, 1899. 228 с.

15. *Соловьев М.М.* Исторический очерк сапропелевого дела в районе озера Селигер // Тр. Сапропелевого ин-та. Л. 1934. Т. 1. С. 19–26.
16. *Столярова Т.И.* Четвертичные отложения. Геологическая карта СССР. Масштаб 1 : 200000. Сер. Московская. Лист О-36-XXVIII / Под ред. *В.А. Котлукова*. М.: М-во геологии и охраны недр СССР, 1961.
17. *Столярова Т.И.* Четвертичные отложения. Геологическая карта СССР. Масштаб 1 : 200000. Сер. Московская. Лист О-36-XXVIII / Под ред. *В.А. Котлукова*. М.: М-во геологии и охраны недр СССР, 1961.
18. *Тимофеев В.И.* Стоянки Залесья и некоторые вопросы изучения Валдайской неолитической культуры // Каменный век Верхневолжского региона. Вып. 2. СПб.: ИИМК РАН, 1997. С. 107–168.
19. *Храмов А.Н., Гончаров Г.И., Комиссарова Р.А. и др.* Палеомагнитология. Л.: Недра, 1982. 312 с.
20. *Цыганов А.А.* Морфометрия плесов и островов озера Селигер // Вестн. ТвГУ. Сер. География и геоэкология. 2011. Т. 1 (9). С. 35–48.
21. *Чеботарева Н.С., Фаустова М.А.* Формы рельефа краевых зон, созданных в период деградации последнего оледенения // Последний ледниковый покров на северо-западе Европейской части СССР / Гл. ред. *И.П. Герасимов*. М., 1969. С. 31–57.
22. *Шапоренко С.И.* Общая физико-географическая характеристика района озера Селигер // Структура и функционирование геосистемы озера Селигер в современных условиях. СПб.: Наука, 2004. С. 26–32.
23. *Bengtsson L., Enel M.* Chemical analysis, in Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology. Chicago: John Wiley & Sons, 1986. P. 423–451.
24. *Bronk Ramsey C.* Bayesian analysis of radiocarbon dates // Radiocarbon. 2009. 51 (1). P. 337–360.
25. *Gorlach A., Hang T., Kalm V.* GIS-based reconstruction of Late Weichselian proglacial lakes in northwestern Russia and Belarus // Boreas. 2017. V. 46. № 3. P. 486–502.
26. *Heiri O., Lotter A.F., Lemcke G.* Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results // J. Paleolimnol. 2001. V. 25. P. 101–110.
27. *Panin A., Matlakhova E.* Fluvial chronology in the East European Plain over the last 20 ka and its palaeohydrological implications // Catena. 2015. V. 130. P. 46–61.
28. *Reimer P.J., Bard E., Bayliss A. et al.* IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50000 years cal BP // Radiocarbon. 2013. 55 (4). P. 1869–1887.
29. *Sidorchuk A. Yu., Panin A.B., Borisova O.K.* Morphology of river channels and surface runoff in the Volga River basin (East European Plain) during the Late Glacial period // Geomorphol. 2009. V. 113. P. 137–157.
30. *Wright H.E.* A square-rod piston sampler for lake sediments // J. Sedimentary Res. 1967. V. 37. № 3. P. 975–976.