

УДК 504.45+550.4

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ

© 2024 г. Г. С. Шилькрот^{1,*}, Т. М. Кудерина¹, С. Б. Суслова¹

¹Институт географии Российской академии наук, Москва, Россия

*e-mail: gal-shilkrot@yandex.ru

Поступила в редакцию 10.08.2023 г.

После доработки 09.04.2024 г.

Принята к публикации 18.07.2024 г.

Обсуждаются результаты проведенного многолетнего (с 2002 г.) геохимического мониторинга озерных, речных и грунтовых (подземных) вод в бассейне оз. Селигер и выполненных летом 2021–2022 гг. съемок (пространственного сканирования) эколого-геохимических показателей вод акваторий Верхней Волги (от оз. Селигер до Горьковского водохранилища (г. Чкаловск)). Исследования позволили выявить две серьезные для региона Верхней Волги экологические проблемы как следствие неотрегулированного природопользования на речном водосборе. Это – гиперэвтрофирование волжских вод около Ярославля и Мышкина. Здесь содержание фосфора в воде достигало 400–500 мкг/л, что вдвое выше верхнего предела для эвтрофных рыбохозяйственных водоемов. Источниками фосфора для прибрежных акваторий являются городские и другие селитебные территории, объекты рекреации в береговой зоне. Высокое содержание фосфора отмечается в грунтовых водах селитьбы на побережье Селижаровского плёса оз. Селигер и в родниках близ поселений в долине Волги между Тверью и Дубной, что подтверждает вывод о влиянии антропогенной деятельности на состояние вод акваторий Верхней Волги. Обнаружено также химическое загрязнение вод Волги вблизи Костромы и в ее притоке – р. Шексне выше Череповца. Индикаторы этого загрязнения – повышенное в 2–10 раз в сравнении с фоном содержание в воде железа и сопутствующих ему в металлургии редкоземельных элементов церия и неодима. Предложено создавать в прибрежной зоне водотоков и акваторий защитные лесные пояса для перехвата поступающих с водосборов загрязнений.

Ключевые слова: экологические проблемы, геохимические показатели вод, микроэлементы, фосфор, эвтрофирование, загрязнение, Верхняя Волга

DOI: 10.31857/S2587556624040052 EDN: RPWFJ

ВВЕДЕНИЕ

Акватории суши, или водные ландшафты в районах интенсивной хозяйственной деятельности человека, испытывают изменения эколого-геохимических характеристик вод и отложений в результате поступления загрязняющих веществ с водосборов рек и водоемов и с атмосферными осадками. Поступающие загрязнения участвуют в формировании новых эколого-геохимических свойств акваторий. Их роль в этом процессе можно оценить только при сравнительном изучении нескольких, различающихся степенью и характером антропогенного воздействия, акваторий в одном климатическом поясе или географическом регионе. Такой подход реализован при геохимических исследованиях вод акваторий Верхней Волги.

Бассейн Волги – главной реки Восточно-Европейской равнины – представляет собой арену хозяйственной и культурной деятельности для 60 млн человек. Волжские воды испытывают негативное воздействие антропогенного фактора из-за недостаточно отрегулированного использования природных ресурсов, ведущего к загрязнению окружающей среды. Особенное место здесь занимают прибрежные города, являющиеся непосредственными источниками загрязняющих веществ для волжских вод. Загрязнения с городских территорий, как и с любой селитьбы, поступают в Волгу с поверхностными и грунтовыми водами и со сбросами недостаточно очищенных коммунальных и промышленных стоков. Однако для прибрежных городов, включая Москву, Волга является основным источником питьевого и промышленного водоснабжения. К тому же река и ее водохранилища имеют ры-

бохозяйственное и рекреационное назначение. Поэтому требуется выявление негативных гидроэкологических явлений и процессов, установление их причин с целью улучшения экологического состояния Волги.

Цель исследования — оценить роль прибрежных городов и другой селитбы в формировании эколого-геохимических свойств акваторий Верхней Волги. Для этого привлечены результаты проведенных нами многолетних (с 2002 г.) эколого-геохимических исследований в бассейне оз. Селигер — второго истока Волги (Кудерина, Шилькрот, 2007; Структура ..., 2004; Суслова и др., 2015) и выполненных летом 2021–2022 гг. съемок (пространственного сканирования) эколого-геохимических показателей воды акваторий Верхней Волги — от оз. Селигер до Горьковского водохранилища (г. Чкаловска) (Шилькрот, 2023; Шилькрот и др., 2022).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Бассейн Верхней Волги расположен в центре Восточно-Европейской равнины, рельеф здесь представляет собой чередование низменных равнин и возвышенностей с колебанием абсолютных отметок в пределах 100–300 м. Основная доля речной сети приходится на малые реки (длиной менее 25 км), представляющие собой типичные равнинные водотоки с широкими пойменными долинами и спокойным течением. В регионе много озер (более 25 тыс.), средняя озерность 1.5%, широко распространены болота (средняя заболоченность около 4%), создано большое количество водохранилищ с водным объемом от 1 до 10 млн м³ (Научно-прикладной ..., 2015).

Объектами наших исследований являлись речные и грунтовые (подземные) воды водосборов и собственно водоемы бассейна Верхней Волги. Исследования велись двумя дополняющими друг друга путями. Первый путь — долговременный локальный мониторинг. Он включает проведение многолетних наблюдений за изменчивостью-стабильностью во времени эколого-геохимических характеристик ключевых объектов в одной местности. Такой мониторинг с начала 2000-х годов осуществляется в бассейне оз. Селигер с целью оценки притока веществ в озеро с природных и освоенных частей водосбора.

Озеро Селигер, по существу, представляет собой второй исток Волги. Оно занимает водораздельное положение в пределах Валдайской возвышенности. Площадь водосбора озера — 2312 км², акватории — 212 км², средняя глубина составляет 5.8 м, максимальная — 24 м. Озеро ледникового происхождения, расчленено на несколько плёсов, отличающихся разной степенью и характером освоенности водосборов.

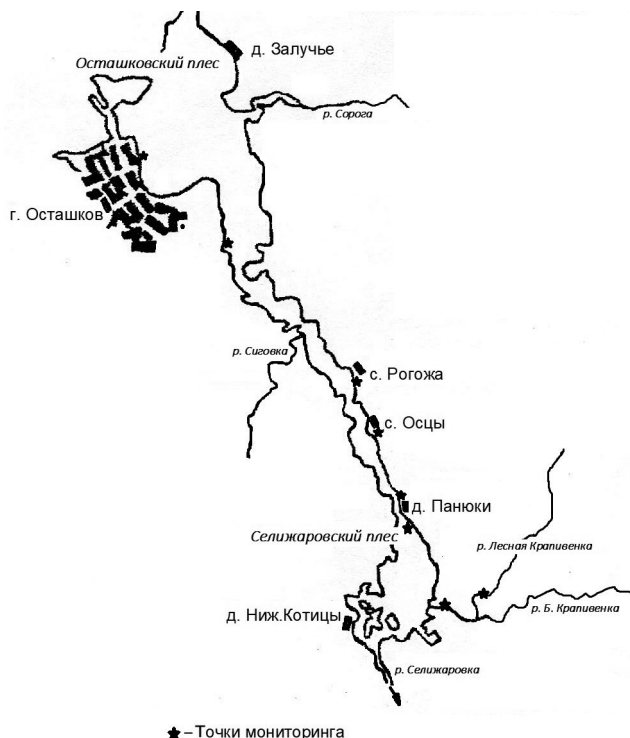


Рис. 1. Карта-схема объектов мониторинга в бассейне оз. Селигер.

Объекты исследования — акватории Осташковского (Городского) и замыкающего Селижаровского плёсов, небольшие реки с лесным водосбором, родники и колодцы в прибрежной селитебной части Селижаровского плёса (рис. 1). На этих объектах пробы воды отбирались в разные сезоны года. Основное внимание уделялось анализу содержания в притоке биогенного элемента — фосфора и микроэлементов.

Второй путь как направление исследований — проведение почти одновременных геохимических съемок воды нескольких акваторий в регионе. Отбор проб воды для химического анализа производится при этом в определенных ключевых пунктах.

Исследования состояния вод Верхней Волги были выполнены в августе 2021 г. — от Мышкина до Чкаловска (Шилькрот и др., 2022); в июне 2022 г. — около Углича и на р. Шексна (левый приток Волги) — с. Горицы (Шилькрот, 2023); в сентябре 2022 г. — на оз. Селигер. В акваториях городов (рис. 2) пробы воды отбирались в основном в прибрежной зоне (при глубинах более 1 м) из поверхностного слоя, в местах вне прямого влияния стоков с побережий и портовых сооружений. Только в акватории Ярославля пробы были отобраны в середине реки.

Пробы воды при мониторинговых и единовременных эколого-геохимических исследованиях анализировались одинаковыми методами. Химический анализ проб начинался на месте наблюдений (определение величины pH и мине-



Рис. 2. Карта-схема акваторий Верхней Волги — района проведения единовременных эколого-геохимических наблюдений.

рализации воды с помощью портативных приборов) и продолжался в лабораториях. В Институте географии РАН определялось содержание минерального и общего растворенного фосфора (метод колориметрии) и анионов (объемными методами). Катионы и микроэлементы анализировались методом плазменной масс-спектрометрии. Ранее анализы выполнялись в лаборатории Центрального научно-исследовательского геологоразведочного института цветных и благородных металлов, в последние годы — в Институте проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Бассейн оз. Селигер

В 1960–1970-х годах оз. Селигер, как и многие другие водоемы в средней части Европейской России, стало эвтрофироваться вследствие деятельности человека в его бассейне (Покровская, Россолимо, 1967).

Проведенные в 2000 г. несколькими академическими институтами исследования озера имели цель оценить его состояние в связи с изменениями в природопользовании после произошедших в стране экономических реформ (Структура..., 2004). Результаты исследования показали существенные различия экологического состояния разных плёсов. Сохранял черты эвтрофикации и значительного загрязнения вод и донных отложений Осташковский плёс. Большое воздействие на его экологическое состояние оказывали сброс с очистных сооружений промышленных предприятий и коммунальные стоки г. Осташкова (несмотря на их сокращение). Воды в поверхностном слое имели повышенные, относительно ПДК для вод рыбохозяйственных водоемов, концентрации Fe, Cu, Mn, Ni, Zn (Leonov et al., 2002).

С конца 2000-х годов по настоящее время наблюдается заметная смена направленности природопользования в бассейне Селигера. Все большее влияние на экологическое состояние озера стали оказывать массовый туризм, застройка побережий и вырубка лесов.

Проведенные нами многолетние геохимические мониторинговые исследования на оз. Селигер и его водосборе в районе Осташковского и Селижаровского плёсов позволили оценить изменчивость-стабильность во времени основных показателей химического состава озерных, речных и грунтовых (подземных) вод в новых условиях природопользования.

Воды оз. Селигер маломинерализованные, характеризуются относительно стабильной величиной минерализации в течение года, в отличие от вод его притоков. Минерализация речных вод сильно меняется по сезонам года в соответствии с условиями водного питания рек: она минимальна в периоды весеннего снеготаяния и максимальна в меженные периоды при питании рек минерализованными грунтовыми водами. Наиболее минерализованными оказались воды родников. Ионный состав всех природных вод — гидрокарбонатно-кальциевый.

Микроэлементный состав озерных и речных вод близок, в сравнении с кларками для речной воды (Справочник ..., 1990) они обогащены Fe, Ti, Cr, V, W, Sn. Воды родников отличаются повышенными концентрациями относительно поверхностных вод Sr, Mn, Co.

Данные о минерализации воды, содержании фосфора и преобладающих микроэлементов в озерных, речных (с лесного водосбора) водах и в водах родников и колодцев приведены в табл. 1 и 2.

Из табл. 1 видно высокое содержание фосфора в колодезных водах сел и деревень, что свидетельствует о загрязнении грунтовых вод на селитебной части водосбора. Вполне вероятно, что это может быть связано с активизацией вымывания фосфора из накопленных запасов этого элемента в почвах и торфяной залежи водосбора. Однако, несомненно, импульс процессу задает антропогенный фактор. Об этом свидетельствуют экспериментальные исследования по удобрению лесных почв (Saura et al., 2000), в ходе которых было установлено усиленное вымывание из них биогенных элементов, оказавшееся выше внесенного с удобрениями количества. Наши данные по содержанию фосфора в водах бассейна Селигера подтверждаются результатами многолетних наблюдений других исследователей за родниками в долине р. Волги — от Твери до Дубны (Лапина и др., 2014). Согласно их данным, на селитебной части долины Волги концентрации фосфора в родниковых водах составляют от 20 до 330 мг Р_{общ/л} и более.

Таблица 1. Минерализация воды и содержание минерального фосфора в природных водах бассейна Селигера, 2002–2015 гг.

Объект	Сумма ионов, мг/л	Фосфор ($P_{мин}$), мкг/л
Озеро Селигер	110–128	8–46 (до 210)**
Река Б. Крапивенка*	50–350/30–220	4–90/2–43
Родники	200–410	1–94
Колодцы	115–390	51–420
Колодец – д. Панюки	64–170	2900–11200

Примечания: * в знаменателе – данные для р. Лесная Крапивенка; ** в скобках – данные для узкой части Селижаровского плёса, близ д. Ниж. Котицы. Предельное содержание $P_{общ}$ в воде эвтрофных водоемов рыбохозяйственного назначения составляет 200 мкг/л (Перечень ..., 1999).
Жирным шрифтом выделены максимальные значения.
Источник: Кудерина, Шилькрот, 2007; Сулова и др., 2015.

Таблица 2. Растворенные микроэлементы в озерных, речных и грунтовых (подземных) водах бассейна оз. Селигер, мкг/л

Элемент \ Объект	Fe	Cr	V	Sr	Co	Zn	Cu	As
Озеро Селигер	196/193	3.5/1,1	1.3/0.5	66/76	0.13/0.2	1.8/2.4	1.8/2.7	0.8/0.7
Река Б. Крапивенка	471/941	7.3/<0.6	1.2/0.2	94/108	0.21/<0.1	1.8/10.3	1.6/4.2	1.0/1.2
Родник – пос. Осцы	638	8.7	0.9	185	0.34	1.3	0.9	0.8
Колодец – д. Панюки	193	2.0	1.6	72	0.16	60	4.7	1.8

Примечания: в числителе указаны средние значения за 2006–2013 гг. (Сулова и др., 2015), в знаменателе – данные, полученные в 2022 г.
Жирным шрифтом выделены максимальные значения.

Данные табл. 1, 2 показывают, что содержание микроэлементов в речном притоке и в воде Селижаровского плёса во многом обусловлено влиянием более минерализованных грунтовых (подземных) вод. Выделяющийся высоким содержанием в воде $P_{мин}$, Zn и Cu колодец в д. Панюки – свидетельство антропогенного влияния на локальное накопление фосфора в почвах и грунтах указанного поселения с последующим выщелачиванием его вместе с Zn и Cu (главных загрязнителей атмосферных осадков) в грунтовые воды.

По сравнению с началом 2000-х годов (Структура ..., 2004; Leonov et al., 2002) в поверхностных водах оз. Селигер заметно снизилось содержание Mn, Pb, Cr, Cd, V. Как правило, оно не превышает ПДК для вод рыбохозяйственного назначения. В то же время концентрации Fe, Cu, Zn, As остаются высокими.

Акватории бассейна Верхней Волги

Единовременные эколого-геохимические исследования состояния вод акваторий Верхней Волги (от оз. Селигер до Горьковского водохранилища) выявили прежде всего особенности формирования химического состава этих вод в определенных природных условиях для бассейна Верхней Волги, а также изменений состава вод из-за воздействия антропогенного фактора.

Как показали исследования, минерализация воды и концентрации основных ионов и микроэлементов в воде акваторий Верхней Волги мало меняются по течению реки (табл. 3). Нарушается это однообразие высоким содержанием Fe и Mn в водах близ Костромы. Подобный пик содержания Fe был отмечен и для р. Шексны, испытывающей влияние промышленного Череповца (Шилькрот, 2023). Концентрации Fe в водах около Костромы в 2–4 раза, а в р. Шексне – с. Горицы в 10–20 раз выше в сравнении с его содержанием в верхневолжских водах. Следует отметить, что для вод Верхней Волги, как и бассейна Селигера, характерно повышенное содержание Fe. В большинстве случаев это связано с природными условиями водосборов – их высокой заболоченностью, обуславливающей поступление в речную воду большого количества Fe вместе с гуминовыми кислотами. Однако очень высокие концентрации Fe в воде вышеуказанных двух акваторий, несомненно, – следствие влияния промышленных предприятий.

Повышенное содержание в волжской воде Mn характерно не только для акватории Костромы (см. табл. 3). Именно для Mn, как и для главных ионов – гидрокарбонатов и кальция, превышены их кларковые величины (см. табл. 3). Содержание Fe и Mn в воде акваторий Верхней Волги оказывается выше нормативов для ры-

Таблица 3. Минерализация воды, содержание главных ионов и растворенных химических элементов в водах акваторий бассейна Верхней Волги, лето 2021 и 2022 гг., мг/л

Объект	Селигер	Волга – Углич	Волга – Мышкин	Шексна – Горицы	Волга – Ярославль	Волга – Кострома	Волга – Чкаловск
Сумма ионов	130	144	154	81	151	123	137
HCO_3^- (58)*	76	85	92	43	—	73	79
Ca (13)	22	31	34	18	28	27	27
Fe (0.67)	0.19	0.20	0.11	1.00	0.16	0.44	0.09
Mn (0.01)	0.05	0.05	0.20	0.15	0.08	0.18	0.17
Sr (0.08)	0.08	0.09	0.11	0.04	0.08	0.08	0.09

Примечания: * в скобках даны кларки ионов и химических элементов в речных водах мира (Добровольский, 2003).

Жирным шрифтом выделены максимальные значения.

Таблица 4. Содержание растворенных форм фосфора и редкоземельных элементов в поверхностных водах акваторий бассейна Верхней Волги, 2021–2022 гг., мкг/л

Объект	Селигер*	Волга – Углич	Волга – Мышкин	Шексна – Горицы	Волга – Ярославль	Волга – Кострома	Волга – Чкаловск
$\text{P}_{\text{общ}}$	35	60	400	29	500	150	70
Церий, Ce	0.31	0.43	0.26	1.23	0.21	2.0	0.13
Неодим, Nd	0.20	0.21	0.09	0.60	0.09	1.0	0.06

Примечания: * Селижаровский плёс; в речном притоке (лесной водосбор) этого плёса содержание $\text{P}_{\text{общ}}$ составило 24 мкг/л, Ce – 0.09, Nd – 0.06 мкг/л.

Жирным шрифтом выделены максимальные значения.

бохозяйственных водоемов. Повышенные концентрации Mn в водах Верхней Волги вблизи городов, помимо природного происхождения, обусловленного геологическими характеристиками территории, может быть связано с поступлением его со сточными водами промышленных предприятий и коммунального хозяйства.

В табл. 4 представлено пространственное распределение в водах акваторий Верхней Волги фосфора – основного биогенного элемента, ответственного за эвтрофирование водных систем, а также двух индикаторов промышленного загрязнения – редкоземельных элементов Ce и Nd, сопутствующих Fe.

Из табл. 4 видно, что в водах Волги в акваториях городов Мышкин и Ярославль очень высоки концентрации фосфора. Они вдвое выше верхнего предела (0.2 мг/л) содержания этого элемента в эвтрофных водоемах рыбохозяйственного назначения. Источниками фосфора могут быть не только сбросы в Волгу недостаточно очищенных сточных бытовых вод, но также поверхностный и грунтовый сток с территории прибрежных городов, так называемое диффузное загрязнение. Последнее подтверждают наблюдения за стоком ручья с территории Мышкина в августе 2021 г. При впадении в Волгу его поверхность была покрыта ковром сине-зеленых водорослей. О площадном загрязнении вод вблизи селитебной территории свидетельствуют

также наши многолетние исследования в бассейне оз. Селигер и исследования химического состава родниковых вод долины Волги (Лапина и др., 2014).

Оказалось также, что в водах Волги у Костромы, как и в р. Шексне выше Череповца, повышено в 2–10 раз в сравнении с фоном содержание Fe, Ce, Nd. Последние два элемента являются спутниками Fe в стоках с предприятий металлургии и их можно считать индикаторами имеющегося здесь загрязнения акваторий промышленными стоками.

Полученная нами оценка современного экологического состояния акваторий Верхней Волги и выявленные проблемы эвтрофирования и загрязнения ее вод подтверждаются данными других исследователей. Ранее (Шилькрот и др., 2022) обсуждалось сравнение наших результатов с данными, полученными волжской экспедицией Института водных проблем РАН (Дебольский и др., 2010, 2011) в летнюю межень 2009 г. В этот сезон максимум $\text{P}_{\text{общ}}$ отмечался в водах Угличского и Чебоксарского водохранилищ, составляя 0.11–0.12 мг/л. Согласно исследованиям (Минева и др., 2021), в 2015–2018 гг. содержание $\text{P}_{\text{общ}}$ составляло похожие величины: 76–95 мкг/л в водах Ивановского водохранилища, 85–106 мкг/л – Угличского, 51–146 мкг/л – Рыбинского. По данным мониторинга, осуществляемого Гидрометеослужбой (Обзор ..., 2023, с. 107), основными

загрязнителями вод Верхней Волги в 2022 г. оказались органическое вещество (по ХПК), соединения Cu, Fe, реже Zn. Отмечается также, что в Рыбинском водохранилище, ниже Череповца, возросло загрязнение вод Mn (до 10 и 30 ПДК), что свидетельствует о загрязнении вод этого водохранилища промышленными стоками Череповецкого металлургического комбината.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты наших многолетних наблюдений за изменчивостью-стабильностью геохимических показателей речных и грунтовых (подземных) вод в бассейне оз. Селигер и вод самого озера и кратковременных пространственных съемок геохимических показателей воды нескольких акваторий Верхней Волги позволили выявить негативную роль антропогенного фактора, проявившего себя в изменении химического состава грунтовых и речных вод. Обозначились очень важные экологические проблемы для волжских вод, возникшие как следствие неотрегулированного природопользования на водосборах.

Многолетний мониторинг в бассейне оз. Селигер показал серьезные изменения химического состава грунтовых вод на территории прибрежных поселений. Здесь в воде некоторых сельских колодцев наблюдаются высокие концентрации $P_{\text{мин}}$, Cu, Zn, As. Очень высокое содержание фосфора в воде одного из колодцев можно рассматривать как следствие зафосфачивания почв и грунтов селитебной территории [как при избыточном внесении удобрений (Титова и др., 2011)], и последующего выщелачивания этого элемента наряду с другими в грунтовые воды. Эти результаты подтверждаются исследованиями других авторов (Лапина и др., 2014). Было обнаружено повышенное содержание $P_{\text{общ}}$ в родниковых водах в прибрежной части Волги — от Твери до Дубны.

Химические показатели воды акваторий Верхней Волги в основном (кроме повышенного содержания Fe и Mn, обусловленного в большинстве случаев природными особенностями региона) соответствуют нормативам для рыбохозяйственных водоемов и нормам для питьевых вод. Исключения выявились для акваторий у Мышкина, Ярославля и Костромы.

Для акваторий у Мышкина и Ярославля был отмечен высокий уровень эвтрофирования. Он подтвержден повышенными здесь вдвое относительно допустимого верхнего предела для эвтрофных водоемов рыбохозяйственного назначения концентрациями фосфора в волжской воде. Источник его — поверхностные и грунтовые воды с городских территорий наряду со сбросами недостаточно очищенных коммунальных стоков.

Для акватории Волги у Костромы выявлено загрязнение вод промышленными стоками, подобное загрязнению вод р. Шексны — выше Череповца (Шилькрот, 2023). Его индикаторы — высокое, в 2–10 раз выше фоновых концентраций, содержание в воде этих акваторий Fe, Ce и Nd.

Решение выявленных гидроэкологических проблем возможно только посредством контроля и управления в природно-антропогенных ландшафтах потоками веществ и энергии, имеющих антропогенное происхождение. Для городских ландшафтов на первом месте должно быть совершенствование методов очистки коммунальных и промышленных стоков, сбрасываемых в водотоки и водоемы. Для всех природно-антропогенных ландшафтов целесообразно создание в прибрежной зоне рек и водоемов лесных защитных барьеров для перехвата поступающих с водосборов загрязнений.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания Института географии РАН FMWS-2024-0007 “Биотические, географо-гидрологические и ландшафтные оценки окружающей среды для создания основ рационального природопользования”.

FUNDING

The research was carried out within the framework of the state-ordered research theme of the Institute of Geography of RAS FMWS-2024-0007 “Biotic, geographical-hydrological and landscape environmental assessments to create the foundations of rational nature management.”

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Дебольский В.К., Григорьева И.Л., Комиссаров А.Б., Корчагина Я.П., Хрусталева Л.И., Чекмарева Е.А. Современная гидрохимическая характеристика реки Волга и ее водохранилищ // Вода. Химия и экология. 2010. № 11. С. 2–12.
- Дебольский В.К., Григорьева И.Л., Комиссаров А.Б. Изменение химического состава воды в Волге от истока к устью в летнюю межень 2009 г. // Охрана окружающей среды и природопользование. Центр экологического контроля. 2011. № 3. С. 68–73.
- Добровольский В.В. Основы биогеохимии: Учеб. для студ. ВУЗов. М.: Изд. Центр “Академия”, 2003. 400 с.
- Кудерина Т.М., Шилькрот Г.С. Мониторинг состояния озера Селигер в новых условиях природопользования // Теория и практика восстановления внутренних водоемов: Тр. междунаrod. науч.-практич. конф. / отв. ред. В.А. Румянцев, С.А. Кондратьев. СПб.: Изд-во “Лема”, 2007. С. 224–230.

- Лапина Е.Е., Ахметьева Н.П., Кудряшова В.В. Родники долины Верхней Волги и ее притоков: условия формирования, режим, охрана. Тверь: Изд-во ООО "Купол", 2014. 256 с.
- Минеева Н.М., Степанова И.Э., Семадени И.В. Биогенные элементы и их роль в развитии фитопланктона // Биология внутренних вод. 2021. № 1. С. 24–34. <https://doi.org/10.31857/S0320965221010095>
- Научно-прикладной справочник: Основные гидрологические характеристики рек бассейна Верхней Волги / под ред. В.Ю. Георгиевского. Ливны, 2015. 129 с.
- Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2022 год. М.: Росгидромет, 2023. 215 с. <https://www.meteorf.gov.ru/product/infomaterials/90/> (дата обращения 27.12.2023).
- Перечень рыбохозяйственных нормативов предельно-допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное назначение. Утвержден Министром сельского хозяйства РФ. М.: Изд-во ВНИРО, 2016. 304 с.
- Покровская Т.Н., Россолимо Л.Л. Черты евтрофирования озера Селигер / Типология озер. М., 1967. С. 27–52.
- Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых. М.: Недра, 1990. 335 с.
- Структура и функционирование геосистемы озера Селигер в современных условиях. СПб.: Недра, 2004. 106 с.
- Суслова С.Б., Шилькрот Г.С., Кудерина Т.М. Многолетняя динамика химического состава поверхностных и грунтовых вод бассейна оз. Селигер // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: Тр. IV Всерос. науч. конф. с международ. уч. / отв. ред. М.В. Болгов. 2015. С. 451–453.
- Титова В.И., Варламова Л.Д., Дабахова Е.В., Бахарев А.В. Изучение фосфорных удобрений и фосфатного состояния почв // Агрохимический вестн. 2011. № 2. С. 3–6.
- Шилькрот Г.С. Волго-Балтийский водный путь: эколого – геохимическая оценка акваторий // Проблемы региональной экологии. 2023. № 1. С. 38–43. <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2023-1-38-43>
- Шилькрот Г.С., Кудерина Т.М., Кудиков А.В. Экология Верхней и Средней Волги: пространственный и временной аспект // Проблемы региональной экологии. 2022. № 2. С. 43–48. <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2022-2-43-48>
- Leonov A.V., Shaporenko S.I., Shilkrot G.S., Yasinsky S.V. Geoecological characteristics of lake Seliger // Water Res. 2002. Vol. 29 (2). P. 133–148. <https://doi.org/10.1023/A:1014992918741>
- Saura M., Frisk T., Sallantausta T., Bilalerdin A. The effects of forest fertilization on the small polyhumic lake // SIL Proceedings. 1922–2010. Vol. 27. № 1. P. 3029–3033. <https://doi.org/10.1080/03680770.1998.11898233>

Ecological and Geochemical Assessment of the Upper Volga Water Bodies

G. S. Shilkrot^{a,*}, T. M. Kuderina^a, and S. B. Suslova^a

^a*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

^{*}*e-mail: gal-shilkrot@yandex.ru*

The results of the survey (spatial scanning) in the summer of 2021–2022 of the ecological and geochemical state of the waters of the Upper Volga from Lake Seliger to the Gorky Reservoir (city of Chkalovsk) and the long-term (since 2002) geochemical monitoring of the lake, river and ground waters of the Lake Seliger basin are discussed. They made it possible to reasonably identify two serious environmental problems for the water areas of the Volga River as a result of unregulated nature management. These are the eutrophication of waters near the cities of Myshkin and Yaroslavl. Here the phosphorus content in the water is 400–500 mcg P/l. Sources of phosphorus are urban areas, settlements, recreation. This is confirmed by the high content of phosphorus in the groundwater of the coastal settlements of the Selizarovsky part of Lake Seliger. Similarity is for the spring waters of the Volga River valley between the cities of Tver and Dubna. Pollution of the Volga River near the city of Kostroma with industrial waste has been detected. The same is observed in the waters of the Sheksna River above the city of Cherepovets. Indicators of pollution are Fe, Ce, Nd. Solution of environmental problems: for cities and industries it is improvement of waste water treatment methods; for all natural-anthropogenic landscapes it is creation of forest barriers in the coastal part of rivers and reservoirs from incoming pollution.

Keywords: ecology, geochemical state, microelements, phosphorus, eutrophication, pollution

REFERENCES

- Debol'skii V.K., Grigor'eva I.L., Komissarov A.B. The change in the chemical composition of water in the Volga from the source to the mouth in the summer of 2009. *Okhr. Okruzh. Sredy Prirodopol'. Tsentr Ekol. Kontrol.*, 2011, no. 3, pp. 68–73. (In Russ.).
- Debol'skii V.K., Grigor'eva I.L., Komissarov A.B., Korchagina Ya.P., Hrustaleva L.I., Chekmareva E.A. Current hydrochemical description of Volga River and its reservoirs. *Voda. Khim. Ekol.*, 2010, no. 11, pp. 2–12.
- Dobrovolskii V.V. *Osnovy biogeokhimii: Uchebnik dlya stud. vyssh. ucheb. zavedenii*. [Fundamentals of Biogeochemistry: Manual for High. Educ. Inst.]. Moscow: Izd. Tsentr "Akademiya", 2003. 400 p.
- Kuderina T.M., Shilkrot G.S. Monitoring of the state of Lake Seliger in the new condition of nature management. In *Teoriya i praktika vosstanovleniya vnutrennikh vodoemov: Tr. mezhd. nauch.-prakt. konf.* [Theory and Practice of Restoration of Internal Waters. Proc. of the Int. Sci.-Pract. Conf.]. Rumayntsev V.A., Kondrat'ev S.A., Eds. St. Petersburg: Lema Publ., 2007, pp. 224–230. (In Russ.).
- Lapina E.E., Akhmet'eva N.P., Kudrayshova V.V. *Rodniki doliny Verkhnei Volgi i ee pritokov: usloviya formirovaniya, rezhim, okhrana* [Springs of Upper Volga Valley and Its Tributaries: Formation, Conditions, Regime, Protection]. Tver. Kupol Publ., 2014. 256 p.
- Leonov A.V., Shaporenko S.I., Shil'krot G.S., Yasinskii S.V. Geoecological characteristics of Lake Seliger. *Water Resour.*, 2002, vol. 29, pp. 133–148. <https://doi.org/10.1023/A:1014992918741>
- Mineeva N.M., Stepanova I.E., Semadeni I.V. Biogenic elements and their significance in the development of phytoplankton in reservoirs of the Upper Volga. *Inland Water Biol.*, 2021, vol. 14, pp. 32–42. <https://doi.org/10.1134/S1995082921010089>
- Nauchno-prikladnoi spravochnik: Osnovnye gidrologicheskie kharakteristiki rek basseina Verkhnei Volgi* [Scientific and Applied Reference: The Main Hydrological Characteristics River Basins of the Upper Volga River]. Georgievskii V.Yu., Ed. Livny, 2015. 129 p.
- Obzor sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchei sredy v Rossiiskoi Federatsii za 2022 god* [Review of the State and Pollution of the Environment in the Russian Federation for 2022]. Moscow: Rosgidromet, 2023. 215 p.
- Perechen' rybokhozyaistvennykh normativov predel'no-dopustimyykh kontsentratsii (PDK valley) i orientirovochno bezopasnykh urovnei vozdeistviya (OBUV) vrednykh veshchestv dlya vody, vodnykh ob'ektov, imeyushchikh rybokhozyaistvennoe znachenie* [List of Fishery Standards for Maximum Permissible Concentrations (MPC) and Indicative Safe Levels of Exposure (SLI) of Harmful Substances for Water in the Water Bodies that Have a Fishery Purpose]. Moscow: VNIRO Publ., 1999. 304 p.
- Pokrovskaya T.N., Rossolimo L.L. Features of eutrophication of Lake Seliger. In *Tipologiya ozer* [Typology of Lakes]. Moscow, 1967, pp. 27–52. (In Russ.).
- Spravochnik po geokhimicheskim poiskam poleznykh iskopaemykh* [Handbook of Geochemical Mineral Prospecting]. Moscow: Nedra Publ., 1990. 335 p.
- Struktura i funktsionirovanie geosistemy ozera Seliger v sovremennykh usloviyakh* [Structure and Functioning of the Geosystem of Lake Seliger in Modern Conditions]. St. Petersburg: Nedra Publ., 2004. 106 p.
- Suslova S.B., Shilkrot G.S., Kuderina T.M. Long-term dynamic of the chemical composition of surface and ground waters of the Lake Seliger basin. In *Fundamental'nyye problemy vody i vodnykh resursov: Trudy IV Vseross. konf. s mezhd. uchastiem* [Fundamental Problems of Water and Water Resources. Proc. of 4th All-Russian Conf. with Intern. Participation]. Bolgov M.V., Ed. 2015, pp. 451–453. (In Russ.).
- Shilkrot G.S. The Volgo-Baltic Waterway: ecological and geochemical estimation of the water areas. *Probl. Reg. Ekol.*, 2023, no. 1, pp. 38–43. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2023-1-38-43>
- Shilkrot G.S., Kuderina T.M., Kudikov A.V. Ecology of the Upper and Middle Volga: spatial and temporal aspects. *Probl. Reg. Ekol.*, 2022, no. 2, pp. 43–48. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2022-2-43-48>
- Saura M., Frisk T., Sallantausta T., Bilalerdin A. The effects of forest fertilization on the small polyhumic lake. *SIL Proc.*, 2010, vol. 27, no. 5, pp. 3029–3033. <https://doi.org/10.1080/03680770.1998.11898233>
- Titova V.I., Varlamov L.D., Dabahova E.V., Baharev A.V. Study of phosphate fertilizers and phosphate status of soils. *Agrokhim. Vestn.*, 2011, no. 2, pp. 3–6. (In Russ.).