

УДК 627.157.002

МИГРАЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОЗЕРА СЕЛИГЕР

Н.В. КОЛОМИЙЦЕВ, Б.И. КОРЖЕНЕВСКИЙ, Т.А. ИЛЬИНА, Г.Ю. ТОЛКАЧЕВ

ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»

Аннотация. Озеро Селигер является одной из ландшафтно-климатической жемчужиной центральной части европейской России. Традиционно эта территория являлась объектом экспансии как организованных, так и неорганизованных туристов. Несколько десятков населенных пунктов и город Осташков вносили и продолжают вносить свою лепту в создание природно-техногенной системы на рассматриваемой территории. И хотя в последние десятилетия численность населения и интенсивность промышленного производства несколько снизилась, повысилось количество гражданских объектов, нередко находящихся в пределах водоохранных зон. Следствием отмеченного является загрязнение донных отложений озера тяжелыми металлами, которое изучается авторами с 2000 года. Наиболее ярко проявляется загрязнение хромом, «виновником» которого является активно работавший в советские времена кожевенный завод, хотя активность отрицательного воздействия которого в последние годы существенно снизилась. Мониторинг загрязнения хромом, результаты которого в некоторых, близких к источнику его поступления пунктах показывают весьма высокую степень загрязнения, показывает на наличие некоторого количества «горячих точек». Изучение распространения в донных отложениях других тяжелых металлов показывает на то, что пока уровень загрязнения ими илов не вызывает опасений, но большинство из них попадает в водоём от неорганизованных источников. Современное состояние водоема пока не вызывает серьезных опасений относительно загрязнения тяжелыми металлами, кроме хрома, однако необходим периодический мониторинг этой территории для компетентной оценки изменения её геоэкологического состояния.

Ключевые слова: озеро Селигер, донные отложения, загрязнение, тяжелые металлы, хром, игео-классы, районирование.

HEAVY METAL MIGRATION IN THE SEDIMENTS OF THE LAKE SELIGER

N.V. KOLOMIYTSEV, B.I. KORZHENEVSKIY, T.A. ILINA, G.YU. TOLKACHEV

VNIIGIM, Moscow, Russian Federation

Annotation. The Lake Seliger is one of the landscape and climatic gems of the central part of European Russia. Traditionally, this territory has been the object of expansion of both organized and unorganized tourists. Several dozen localities and the city of Ostashkov have contributed and continue to contribute to the creation of a natural and man-made system in the territory under consideration. Although the population and the intensity of industrial production have declined somewhat in recent years, the number of civilian facilities, often located within water protection zones, has increased. The consequence of this is the contamination of the sediments of the lake with heavy metals, which has been studied by the authors since 2000. The most pronounced is the chromium contamination, the "culprit" of which is a tannery that was actively operating in Soviet times, although the activity of the negative impact of which has significantly decreased in recent years. Monitoring of chromium contamination, the results of which show a very high degree of contamination in some points close to the source of its receipt, indicates the presence of a certain number of "hot spots". The study of the distribution of other heavy metals in the sediments shows that so far the level of contamination of silt with them is not cause for concern, but most of them enter the lake from unorganized sources. The current state of the lake does not yet cause serious concerns about contamination with heavy metals, except chromium, but the periodic monitoring of this area is necessary for a competent assessment of changes in its geoecological state.

Keywords: Lake Seliger, sediments, pollution, heavy metals, chromium, igeo-classes, zoning.

Введение. Озеро Селигер является одним из наиболее живописных мест Валдайской возвышенности. Наиболее распространённая версия его площади составляет около 260 км². По данным А.А. Цыганова [1] в различных источниках площадь озера отличается от приведённого выше значения на 3-5% как в одну, так и другую сторону. Он же приводит доводы в пользу исключения из этой площади некоторых меньших озёр, находящихся вблизи, но гипсометрически выше основного озера и соединяющихся с последним протоками. Достаточно постоянной различными авторами считается площадь островов, которая оценивается приблизительно в 38 км² [2]. Площадь водосборного бассейна так же у различных авторов различается на десятки квадратных км [3], наиболее часто в литературе встречается цифра 2275 км² [1]. Отметка озера около 205 м над у.м., так как последняя регулируется стоком в реку Селижаровку. Озеро называют рытвенным или троговым, то есть оно возникло в результате заполнения депрессии, возникшей в ходе эволюции валдайского оледенения с последующим её заполнением пресными водами. Оно имеет сложную лопастную конфигурацию с многочисленными плёсами, соединёнными друг с другом и основной частью протоками различной длины и ширины, с индивидуальными режимами течений [4]. Максимальная глубина, отмечаемая в литературе, составляет 24 метра [2] в Осташковском (Городском) плёсе. Авторами при отборе донных отложений (ДО) в этом же

плёсе глубины более 16 метров не встречались, при этом следует отметить, что наиболее глубокое место целенаправленно не разыскивалось. На сопредельных озёру территориях хорошо сохранился ледниково-аккумулятивный рельеф, характерными чертами которого являются молодые реки без выработавшихся террас и многочисленные озовые и камовые структуры ориентированные с северо-запада на юго-восток, соответственно движению ледника и нередко превышающие высоту в десятков метров и имеющие протяженность в несколько и более десятка километров [5]. На озере отмечаются такие изменяющиеся во времени структуры, как размытые острова и возникающие отмели, приуроченные как к устьям рек, так и абрадируемым участкам побережий, так же именуемые в литературе как «вспышки» и «нальи», причём между различными авторами нет согласия на эту тему [1]. Толща, вмещающая воды озера Селигер, сложена грунтами, оставшимися после эволюции наиболее молодого валдайского оледенения, продукты переработки которых формируют минеральный состав ДО. Она представлена суглинистыми и глинистыми отложениями со значительным содержанием более крупного откатанного обломочного материала. Эта толща залегает на предварительно денудированном «карбонатном плато», представленным карбонатными отложениями; её мощность в районе озера Селигер несколько более 30 м, а южнее г. Осташков её мощность достигает 40-42 м [6]. Современные ДО озера Селигер представлены пылеватой и глинистой фракцией, причём более молодые горизонты содержат существенно больше органики, чем старые, так как последние размывались и переоткладывались в более холодных условиях, когда на склонах источников органического вещества было существенно меньше [6]. Их мощность составляет менее десятка метров.

В озеро впадает более 100 малых рек и ручьев. Оно является природным регулятором стока Верхней Волги от истоков до Иваньковского водохранилища. Одним из важных элементов рельефа рассматриваемой территории являются болота, которые во влагообильные годы служат источниками поступления железистых соединений в чашу озера. Воды озера по химическому составу относятся к гидрокарбонатным кальциевым, с минерализацией от 70 мг/л на этапе снеготаяния до 500 мг/л и более в летнюю межень [7]. Единственным городом на побережье является Осташков, которому более 700 лет. Численность его населения в 2020 году по [8] составляла около 14 тыс. чел., что почти вдвое меньше, чем это было в 70-е годы прошлого века (более 27 тыс. чел.).

Основные методические принципы. При выполнении работ по определению распространения загрязнения озера Селигер тяжелыми металлами (ТМ) использовались следующие методические принципы:

1. Районирование территории по таксонам различных иерархических уровней: наиболее крупным участком *Первой* категории является вся водосборная площадь озера; участками *Второй* категории – территории, сопредельные городу Осташков, более мелкие таксоны не

обследовались. Подробная иерархия районирования территории водных объектов приведена в [9].

2. Выделение уровней загрязнения ДО по игео-классам или по «индексу геоаккумуляции» [10, 11], который характеризует кратность загрязнения ДО (относительно природного фона) во фракциях пробы <0,020 мм. Ранжирование тяжелых металлов в ДО по степени экологической опасности существенно отличается в разных странах и даже в разных научно-исследовательских центрах в пределах одного государства. Это обусловлено как объективными обстоятельствами (геохимическая специфика территории, климата, вносимых удобрений и пестицидов, эрозионно-аккумулятивных процессов и ряда других процессов и явлений), так и субъективными причинами (недостаточная разработанность оценки токсичности тяжелого металла, отсутствие современной аппаратуры, некорректный выбор эталонных объектов или природного фона того или иного химического элемента и т.п.). При отсутствии данных о региональном геохимическом фоне рекомендуется использовать геохимическую фоновую концентрацию элемента по А.П. Виноградову [12] для территории России или по К. Видеполу [13] при сравнении загрязненности современных осадков водных объектов различных регионов. В течение почти 40 лет система классификации загрязненности ДО по Г. Мюллеру [10] находит широкое применение в различных странах мира [14], более подробно она освещена в [3].

3. При выборе пунктов отбора ДО использовался морфологический подход. Рядом авторов [15] предлагается производить отбор ДО по сетке отбора, где створы или точки опробования регламентируются через одинаковые расстояния без учёта гидролого-морфологических характеристик водного объекта, что может привести к совершенно некорректному результату, допускаемые в этих случаях ошибки отмечены в [3]. При морфологическом подходе отбор ДО осуществляется в тех пунктах водных объектов, где заведомо возможно наличие ДО со значительным содержанием тонкой фракции, в местах, именуемых седиментационными ловушками или потенциальными барьерами [16]. Отбор образцов в глубоких местах озера производился с использованием плавсредств, причём предпочтение отдавалось более легким и мобильным – наиболее удобным для решения поставленных задач. Пробы отбирались ковшом грейферного типа, а вдоль побережий – в неглубоких местах – отбор производился как вручную, так и с использованием соответствующих дночерпателей.

4. Важным положением при оценке загрязненности ДО является минеральный состав тестируемых отложений, особенно отобранных в различных местах водоема, поскольку он определяет как сорбционную способность толщи, так и ее гидрофильность и ионный обмен. Эти характеристики наиболее свойственны глинистой фракции, в которой наиболее важными при изучении содержания в ней ТМ являются площадь удельной поверхности и кристаллохимическое строение базальных поверхностей и боковых сколов [17], там же отмечено, что по всему водоему

минералогический состав достаточно однороден, но иногда различается по содержанию органического вещества. Данные по органо-минеральному составу некоторых проб ДО и их удельной поверхности приведены в таблице 1, из которой видно, что удельная поверхность минеральной части ДО колеблется от 14 до 200 и более м² на грамм. Это указывает на высокую сорбционную ёмкость ДО, а значительное количество органического вещества способствует её увеличению.

Таблица 1 – Содержание органического вещества, суммарная удельная поверхность и удельная поверхность минеральной части некоторых образцов ДО озера (фракция менее 20 мкм)

Адрес отбора пробы	Сорг,%	Гигроскопическая влажность (Wg, %)	Уд. поверхность грунта (S ₀ , м ² /г)	Гигроскопическая влажность минеральной части (Wg, %)	Уд. поверхность минеральной части (S ₀ , м ² /г)
Залив у т/б "Сокол"	5,9	1,92	69,35	1,86	67,18
Залив южнее д. Слобода	5,7	1,04	37,56	0,24	8,67
У устья Ботовского залива	10,4	3,13	113,06	2,59	93,55
Окраина д. Ботово	27,5	5,74	207,32	5,07	183,13
У промплощадки г. Осташков	5,0	2,03	73,32	1,39	50,21
У кожзавода г. Осташков	10,4	2,80	101,14	1,95	70,43
У нефтебазы г. Осташков	3,4	0,40	14,34	0,12	4,33
У речного вокзала г. Осташков	9,1	2,23	80,55	1,63	58,88
У д. Верхние Рудины	7,7	1,04	37,56	0,81	29,26
Центр Селижаровского плёса	18,2	4,59	165,79	3,29	118,83

Большинство содержащихся в ДО коллоидов заряжены отрицательно, поэтому значительное количество катионов ТМ снижают отрицательный заряд коллоидных частиц, способствуя их коагуляции. Это определяет преимущественное нахождение ТМ, прежде всего кадмия, свинца и хрома, в тонкодисперсных ДО с высоким содержанием органических веществ, что отмечается также и рядом других исследователей [4, 15].

5. Анализ содержания ТМ в ДО выполнен на приборе «СПЕКТРОСКАН МАХ-GV» производства НПО «СПЕКТРОН» г. Санкт-

Петербург по методике измерения массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах грунтов методом рентгенофлуоресцентного анализа. В его работе используется источник первичного рентгеновского излучения (рентгеновская трубка) для облучения анализируемого образца, в результате чего сам образец начинает излучать (флуоресцировать) в рентгеновском диапазоне. Спектральный состав вторичного излучения адекватно отражает элементный состав анализируемого грунта. Атомы того или иного химического элемента имеют свои, характерные только для данного элемента спектральные линии (так называемые характеристические линии). Наличие или отсутствие в спектре тех или иных линий свидетельствует о присутствии или отсутствии соответствующих химических элементов, а измерение интенсивности («яркости») этих линий позволяет количественно оценить концентрацию данного элемента.

Результаты исследований и основные выводы. Образцы ДО отбирались от пос. Осцы в южной части озера до пос. Залучье и ручья Ускоройня в северной его части. Наибольшее внимание уделялось участку *Второй* категории в районе г. Осташков, где так же с интервалом в 4 года опробовались ДО большей части озера, исследуемого в качестве участка *Первой* категории. Наиболее интересные пункты опробований приведены на рис.1, результаты, отображающие загрязнение ДО хромом, – в таблице 2. Все данные по загрязнению ДО озера ТМ не приводятся, так как изучалось существенно более 50 образцов и в каждом определялось не менее 12 металлов: кадмий, ртуть, свинец, цинк (микроэлементы первого класса опасности); медь, никель, хром, кобальт, молибден (микроэлементы второго класса опасности); ванадий, вольфрам и марганец (микроэлементы третьего класса опасности). Дополнительно анализировалось наличие в ДО мышьяка и фосфора.

Таблица 2 – Содержание валового хрома в ДО южной части озера Селигер (Городской плёс)

№ пробы	Пункт отбора пробы ДО, глубина, описание	Cr, мг/кг	Загрязнение по иgeo-классам
5	Остров Городомля, у берега, глубина 2 м, коричневый ил	492	Умеренное
58	Речной вокзал Осташкова, глубина 6м, черный ил	306	Умеренное
11	Залив у турбазы "Сокол", глубина 7 м, черный ил	655	Среднее
41	Окраина д. Ботово, у пристани, глубина 2,5м, серо-коричневый ил	120	Фон
6	Пос. Ляпино, глубина 3 м, черно-коричневый ил	469	Умеренное
59	Окраина Осташкова, 20 м от набережной, глубина 1м, ил с песком	173	До умеренного
10	Западная часть Городского плёса, глубина 16 м, черный ил	4103	От сильного до чрезмерного

12	У кожзавода Осташкова, 50 м от берега, глубина 6 м, черный ил	12134	Чрезмерное
30	Пос. Слобода, 50 м от берега, глубина 8 м	1042	Сильное
19	Промплощадка Осташкова, 30 м от берега, глубина 2м, черный ил	12013	Чрезмерное
20	Напротив д. Жулево, глубина 3м, серо-коричневый ил	1101	Сильное
32	Нефтебаза Осташкова, глубина 1,5 м, серо-коричневый ил с песком	1697	Сильное
47	У церкви близ турбазы "Сокол", глубина 13 м, черный ил	1978	Сильное
54	У Ботовского залива, 10 м от берега в протоке, глубина 1м, серо-коричневый ил	1631	Сильное

Перераспределение ТМ в ДО озера связано с развитием в водной толще динамических процессов. Сложная морфология озера Селигер способствует развитию циркуляционных течений под воздействием ветра. Численное моделирование подтверждает наличие до 20 циркуляционных зон стоково-ветрового генезиса протяженностью до 1-5 км [18]. В Городском плёсе формируется два основных течения при различных западных ветрах. Они способствуют перераспределению хрома в ДО от источника (промзона Осташкова) по акватории озера, что хорошо иллюстрируется рисунком 1 и таблицей 2. Малая циркуляционная зона, формирующаяся в западной части Городского плёса, при северо-западных ветрах способствует миграции хрома по следующей траектории по мере убывания его концентраций: т.12 > т. 19 > т. 10 > т. 54 > т. 20. При юго-западных ветрах формируется большая циркуляционная зона, благодаря которой загрязненные хромом ДО прослеживаются на больших удалениях от источника (т. 47 и т. 30 на северо-западе и т. 5 и т. 6 на северо-востоке плёса).

Связь распространения других ТМ с течениями в озере в явном виде не прослеживается вследствие многочисленности их источников (маломерные суда, «дикие» стоянки туристов, гражданские объекты в водоохраных зонах и пр.), а также их невысоких концентраций – до умеренного загрязнения.

Проанализировав фактические данные, по результатам исследований приводим следующие **выводы**:

1. Наиболее активным загрязнителем объекта является хром, который, несмотря на существенное снижение активности производственной деятельности соответствующего предприятия в городе Осташков по-прежнему достаточно широко распространён как по площади в удалении до 10 км от основного источника загрязнения, так и по концентрации, которая достигает максимального уровня пятого - шестого и гео-класса в Городском плёсе. Специалистами отмечается повышенное содержание хрома и в воде [7], а так же наличие в ней вольфрама и ванадия - продуктов функционирования соответствующего предприятия.

2. В озере, благодаря наличию многочисленных островов и извилистого берегового рельефа существует система местных течений, которые имеют индивидуальную направленность и являются нередко фактором переноса загрязнённых ДО в направлении, противоположном основному потоку с северо-запада - от истоков на юго-восток до устья реки Селижаровки. Такая ситуация отмечалась как при натуральных наблюдениях, так и при моделировании [18].

3. Прочие изучаемые ТМ существенной, по экспертной оценке, опасности не представляют, так как их содержание находится в пределах второго и гео-класса и вызвано, в основном некорректным отношением лиц, ответственных за экологическую обстановку вблизи непромышленных источников к экологической ситуации на объекте.

4. При сохраняющейся техногенной нагрузке на экосистему озера Селигер в течение десятилетий возможно снижение загрязнения хромом при сокращении соответствующего производства, корректном отношении к сбросам в водный объект и разбавлением концентрации этого ТМ абрадируемыми отложениями. Содержание других ТМ в ДО целиком зависит от людей, проживающих и отдыхающих вблизи озера. Явной тенденции как к ухудшению, так и к улучшению геоэкологической ситуации в настоящее время не отмечено.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цыганов А.А. Морфология плесов и островов озёра Селигер // Вестник ТВГУ. Серия «география и геоэкология». 2011. Вып 1(9). С. 35-48.
2. Анчунин Д.Н. Озёра области истоков Волги и верховьев Западной Двины (по исследованиям 1894-1895гг.) // Избранные географические работы/ под ред. А.А. Борзова. - М.: Изд-во «Географ. лит.», 1949. С. 325-360.
3. Коломийцев Н.В., Корженевский Б.И., Ильина Т.А., Аверкина Т.И., Самарин Е.Н., Иванов Г.Н., Мюллер Г., Яхья А. Загрязнение водных экосистем озера Селигер тяжёлыми металлами // Мелиорация и водное хозяйство, 2004, № 5, с. 43 - 46.
4. Косов В.И., Косова И.В., Левинский В.В., Иванов Г.Н., Хильченко А.И. Исследование распределения тяжёлых металлов в донных отложениях оз. Селигер // Водные ресурсы, 2004, том 31, № 1, с. 51 - 59.
5. Сидоренко А.В. Геология СССР. Том 4. Центр Европейской части СССР. Геологическое строение. - М.: Недра, 1971. - 742 с.
6. Москвитин А.И. Плейстоцен Европейской части СССР. - М.: Наука, 1965. 180 с.
7. Сулова С.Б., Шилькрот Г.С., Кудрина Т.М. Гидро-геохимическая характеристика вод Селигера и верхневолжских озёр (по многолетним данным). В сб.: Проблемы природопользования и экологическая ситуация в европейской россии и сопредельных

странах. Материалы VI Международной научной конференции. Ответственный за выпуск Голеусов П.В., 2015. С. 324-328.

8. Осташков: климат, экология, районы, экономика. (<https://nesiditsa.ru/city/ostashkov>. Дата обращения 09.04.2021)

9. Корженевский Б.И., Коломийцев Н.В., Ильина Т.А., Гетьман Н.О. Мониторинг загрязнения автотранспортом малых рек Московской области тяжелыми металлами // Безопасность жизнедеятельности, 2018. – № 4 (208). – С. 24-29.

10. Mueller G. (1979). Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins - Veraenderungen seit 1971. Umschau 79. H. 24: 778–783. (in German)

11. Mueller G., Ottenstein R., Yahya A. (2001). Standardized particle size for monitoring, inventory, and assessment of metals and other trace elements in sediments: <20 µM or <2 µM? Fresenius' Journal of Analytical Chemistry. 371 (5): 637-642. DOI: 10.1007/s002160100978

12. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах // Доклады АН СССР. Геохимия, 1957, с. 237 - 238.

13. Wedepohl H.K. (1995). The composition of the continental crust. Geochimica et Cosmochimica Acta. 59 (7): 1217-1232.

14. Domy C. Adriano. (2001). Trace Elements in Terrestrial Environments. Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of Metals. N.Y. etc.: Springer. 879 p.

15. Бреховских В.Ф., Волкова З.В., Катунин Д.Н., Казмирук В.Д., Казмирук Т.Н., Островская Е.А. Тяжелые металлы в донных отложениях Верхней и Нижней Волги // Водные ресурсы. 2002. Том 29. № 5. С. 587 - 595.

16. Корженевский Б.И. Миграция тяжелых металлов в речных бассейнах и определяющие её факторы // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2018. № 3 (155). С. 87-91.

17. Коломийцев Н.В., Корженевский Б.И., Аверкина Т.И., Самарин Е.Н. Характеристика состава донных отложений озера Селигер и Иваньковского водохранилища. В сб.: Сергеевские чтения. Инженерная геология и геоэкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи. Юбилейная конференция, посвященная 25-летию образования ИГЭ РАН. Ответственный редактор В.И. Осипов. 2016. С. 58-62.

18. Косова И.В. Геоэкологическая оценка формирования водной системы Селигер в условиях антропогенного воздействия: автореф. канд. техн наук. ТвГУ, 2001. 24 с.

REFERENCES

1. Tsyganov A. A. Morphology of ples and islands of the Lake Seliger // Vestnik TVSU. Series "Geography and geocology". 2011. Vol 1(9). Pp. 35-48.

2. Anchunin D. N. Lake or the region headwaters of the Volga river and the upper reaches of the Western Dvina (research 1894-1895гг.) // Selected geographical works, ed. by A. A. Borzov. - M.: Izd-vo "Geographer. lit.", 1949. Pp. 325-360.

3. Kolomiytsev N. V., Korzhenevskiy B. I., Ilyina T. A., Averkina T. I., Samarin, E. N., Ivanov, G. N., Mueller G., Yahya A. Pollution of aquatic

ecosystems of the Lake Seliger by heavy metals // Irrigation and water management, 2004. Vol. 5. Pp. 43 - 46.

4. Kosov V. I., Kosova I. V., Levinsky V. V., Ivanov G. N., Khilchenko A. I. Investigation of the distribution of heavy metals in the sediments of the Lake Seliger // *Vodnye resursy*, 2004. Vol. 31, No. 1. Pp. 51-59.

5. Sidorenko A.V. *Geologiya SSSR. Volume 4. The center of the European part of the USSR. Geological structure.* - M.: Nedra, 1971. - 742 p.

6. Moskvitin A. I. *Pleistocene of the European part of the USSR.* - M. Nauka, 1965. 180 p.

7. Suslova S. B., Shilkrot G. S., Kudrina T. M. Hydro-geochemical characteristics of the waters of the Seliger and the Upper Volga lakes (according to long-term data). In the collection: *Problems of nature management and the environmental situation in European Russia and neighboring countries. Proceedings of the VI International Scientific Conference.* Responsible for the issue Goleusov P. V., 2015. pp. 324-328.

8. Ostashkov: climate, ecology, districts, economy. (<https://nesiditsa.ru/city/ostashkov>. Accessed 09.04.2021)

9. Korzhenevskiy B. I., Kolomiitsev N. V., Ilina T. A., Getman N. O. Monitoring of pollution by motor transport of small rivers of the Moscow region with heavy metals., 2018. *Life safety*– No. 4 (208). – Pp. 24-29.

10. Mueller G. (1979). *Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins - Veraenderungen seit 1971.* *Umschau* 79. H. 24: 778–783. (in German)

11. Mueller G., Ottenstein R., Yahya A. (2001). Standardized particle size for monitoring, inventory, and assessment of metals and other trace elements in sediments: <20 μM or <2 μM ? *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry.* 371 (5): 637-642. DOI: 10.1007/s002160100978

12. Vinogradov A. P. *Geochemistry of rare and scattered elements in soils.* *Geochemistry*, 1957, pp. 237-238.

13. Wedepohl H.K. (1995). The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta.* 59 (7): 1217-1232.

14. Domy C. Adriano. (2001). *Trace Elements in Terrestrial Environments. Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of Metals.* N.Y. etc.: Springer. 879 p.

15. Brekhovskikh V. F., Volkova Z. V., Katunin D. N., Kazmiruk V. D., Kazmiruk T. N., Ostrovskaya E. A. Heavy metals in the sediments of the Upper and Lower Volga. *Vodnye resursy*, 2002. Vol. 29. No. 5. Pp. 587-595.

16. Korzhenevskiy B. I. Migration of heavy metals in river basins and determining factors // *Use and protection of natural resources in Russia.* 2018. No. 3 (155). Pp. 87-91.

17. Kolomiitsev N. V., Korzhenevskiy B. I., Averkina T. I., Samarin E. N. Characteristics of the composition of the sediments of the Lake Seliger and the Ivankovo reservoir. In the collection: *Sergeyev Readings. Engineering geology and geoecology. Fundamental problems and applied problems. Anniversary conference dedicated to the 25th anniversary of the IGE RAS.* Executive editor V. I. Osipov. 2016. pp. 58-62.

18. Kosova I. V. Geoecological assessment of the formation of the Seliger water system in the conditions of anthropogenic impact: abstract of the Cand. technical sciences. TvSU, 2001. 24 p.