

УДК 627.157: 002.637 (282.247.41)

Иванов Г.Н.

Иванов Григорий Николаевич, к. г-м. н., доцент кафедры природообустройства и экологии Тверского государственного технического университета, Тверь, Академическая, 12. oio_fpie@inbox.ru

ДИНАМИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ОЗЕРА СЕЛИГЕР ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Аннотация. Проведенные работы впервые позволили охарактеризовать загрязненность донных отложений озера Селигер с современных позиций изучения песчано-глинистых дисперсных систем. Исследования загрязненности озера Селигер в 2000-м и 2004 гг. показали, что донные отложения являются наиболее приемлемым индикатором оценки загрязнения водных экосистем. Допустимо нивелировать различия в гранулометрическом составе донных отложений путем выделения «сорбирующей» фракции ($d < 0,02$ мм).

Ключевые слова: загрязнение, озерная экосистема, тяжелые металлы

Ivanov G.N.

Ivanov Grigory N., Ph.D., Associate Professor of the Chair of Nature Management and Ecology of the Tver State Technical University, Tver, Academicheskaya, 12. oio_fpie@inbox.ru

DYNAMICS OF HEAVY METAL POLLUTION ON LAKE SELIGER

Abstract. Contamination of bottom sediments of the Lake Seliger has been first characterized from the modern ways of studying sand and clay disperse systems. Investigation of the Lake Seliger pollution in 2000-04 showed that the sediments are a convenient indicator of pollution assessment of aquatic ecosystems. It is possible to neutralize the differences in particle size distribution of sediments by allocating «absorbing» fraction $<0,02$ mm.

Keywords: pollution, lake ecosystems, heavy metals

Изучение состава донных отложений (ДО) в последние годы стало важным звеном в оценке экологического состояния водных объектов, поскольку они несут информацию об их загрязнении вследствие хозяйственной деятельности на водосборной территории и наиболее адекватно отражают современное состояние водного объекта.

Озера – это аккумулярующие природные системы с замедленным водообменом, что отличает их от рек и других водотоков, поэтому их ДО, как правило, характеризуются высоким содержанием органического вещества. Геоэкологический подход к исследованию озерных бассейнов предполагает изучение закономерностей распределения и миграционной способности осадкообразующих веществ. Характерная черта озерной седиментации (осадконакопления) – резко выраженная зональная географическая изменчивость и стадийность развития, проявляющаяся в химическом составе воды и ДО и в трофических характеристиках озера (олиготрофное, мезотрофное, евтрофное и дистрофное). Олиготрофный, евтрофный и дистрофный типы озер характеризуют отдельные возрастные стадии их естественной эволюции [1].

ДО формируются в результате сложного взаимодействия совокупности климатических, гидрологических, механических, физических, химических, биологических и других процессов, протекающих во времени как на водосборной площади, так и в самом озере. В поверхностном слое ДО – наиболее активной их составляющей, представленной глинистыми минералами, оксидами железа и марганца, органическим веществом, – вследствие процессов сорбции, ионного обмена и коагуляции фиксируется техногенное загрязнение окружающей среды. То есть ДО озер хранят геохимическую информацию о былых условиях, существовавших в окружающем водоеме географическом комплексе [1]. По мнению германских специалистов, верхние горизонты ДО в зависимости от гидрологических условий свидетельствуют о техногенном загрязнении окружающей среды за последние 3–12 месяцев [5].

В качестве объекта наших исследований было выбрано озеро Селигер, являющееся естественным регулятором стока Верхней Волги.

Озеро Селигер расположено в Тверской области на Валдайской возвышенности и занимает центральную часть водосборной территории, оно служит естественным регулятором

стока реки Волга на участке от истока до Ивановского водохранилища. Ложе озера (ледниково-карстового происхождения) образовалось после последнего Валдайского оледенения. находится на высоте 205 м над уровнем моря. Площадь его бассейна – 2275 км². В озеро впадает 110 ручьев и речек и весь приток вытекает из него через реку Селижаровка, впадающую в Волгу. Площадь озера – около 260 км², из них почти 38 км² занимают острова (их на озере более 160). Глубина озера достигает 24 м. Его возраст составляет примерно 12 тыс. лет и история его развития относится к периоду голоцена. Озеро имеет сложную лопастную конфигурацию, расчленено на многочисленные плесы, соединенные между собой протоками разной длины и ширины. Самые крупные из них – Осташковский (Городской или Слободской), Полновский, Кравотынский, Селижаровский и Березовский. Каждый плес характеризуется своими гидрохимическими условиями и гидрологическим режимом, что находит отражение в разнообразии ДО [4]. Это позволяет в рамках одного природного объекта изучить практически весь спектр озерных отложений данной природно-климатической зоны.

Лимническая система озера такова, что плесы и заливы в разной степени подвержены техногенной нагрузке. В 2000-м и 2004 гг. в рамках международного проекта «Волга – Рейн» были проведены комплексные экспедиции на озеро по отбору проб ДО [2, 3].

Чтобы получить данные о содержании тяжелых металлов (ТМ) в ДО плесов и заливов, были отобраны пробы верхнего (разжиженного) слоя осадков в 2000 г. в 26 пунктах, в 2004 г. – в 35 пунктах отбора проб. Для отбора образцов использовался пробоотборник грейферного типа. Отобранные образцы упаковывались в пластиковые пакеты.

Озеро Селигер находится в области достаточно влажного климата, чем объясняется наличие заболоченных участков в понижениях рельефа водосборной территории. За год здесь выпадает до 700...750 мм осадков. Большая часть из них приходится на теплый период (70...75% годовой суммы) – с апреля по октябрь. Условия питания озера характерны для большинства водных систем Восточно-Европейской равнины: талые снеговые воды – 45...55%; грунтовое питание – 25...40%; дождевое питание – 15...20%.

По химическому составу воды озера относятся к гидрокарбонатным кальциевым, мине-

рализация в течение года колеблется от 70 мг/л в период снеготаяния до 500 мг/л, а иногда и выше в летнюю межень. В последнее время состав озерной воды несколько изменился в связи с антропогенными нагрузками.

Принято считать, что деградация озерных экосистем и ухудшение качества воды связаны с техногенным евтрофированием и химическим загрязнением. Под первым понимают увеличение содержания в водном объекте фосфора, азота и других биогенных элементов, обуславливающих интенсификацию первичного продуцирования органического вещества, что стимулирует рост водорослей и высших водных растений. Под техногенным химическим загрязнением понимают накопление в воде и ДО химических соединений с формированием в последних литогеохимических аномалий. Техногенное химическое загрязнение ДО водных объектов, в нашем понимании, является одним из видов техногенного воздействия на водные экосистемы.

Наши исследования показали, что стандартные методики изучения вещественного состава грунтов (почв и горных пород) напрямую не годятся для ДО, поскольку главной особенностью ДО является высокое содержание в них природных и техногенных поверхностно-активных веществ. Кроме того, весьма важным для оценки техногенной загрязненности ДО является изучение минерального состава проб (особенно для отобранных в разных плесах), поскольку он является одним из главных факторов, определяющих сорбционную способность, гидрофильность ДО и ионный обмен. Эти свойства в наибольшей мере присущи глинистым минералам и характеризуются двумя основными особенностями, связанными с их составом и структурой, а именно: удельной поверхностью и кристаллохимическим строением базальных поверхностей и боковых сколов [10]. Опыт работ 2000 г. показал, что ДО озера Селигер по минералогическому составу соответствуют продуктам размыва ледниковых отложений [2] и достаточно однородны, но существенно различаются по гранулометрическому составу и содержанию органического вещества. Эти различия определяют разную адсорбционную и реакционную способность осадков, что подтверждается существенными вариациями значений их удельной поверхности. Для определения степени загрязнения ДО ТМ была использована германская методика оценки техногенного поступления химического

элемента в ДО на основе Игео-классов *Г. Мюллера* [5]. В основе классификации лежит принцип выделения из каждой пробы «сорбирующей» фракции с размером частиц < 0,02 мм [6].

Характеристика уровней загрязнения ДО и ее сравнение с уровнем техногенной нагрузки на водные экосистемы приведены в таблице 1. Нулевой Игео-класс является полуторным геохимическим фоном, определяемым специально или взятым из литературных источников. Последующие классы образованы путем двукратного умножения верхней границы предыдущего класса. С достаточной для практики точностью при региональных исследованиях допустимо использовать данные *К. Тюрекиана* и *К. Видепола* [7].

Таблица 1. Оценка уровня загрязнения донных отложений по Игео-классам и техногенной нагрузки на водные экосистемы

Table 1. Assessment of the level of contamination of sediments by Igeo classes and anthropogenic impact on aquatic ecosystems

Игео-класс	Уровень загрязнения ТМ по <i>Г. Мюллеру</i> [7]	Техногенная нагрузка на водные экосистемы по <i>Н.В. Коломийцеву</i> [3]
0	Незагрязненный	Слабая
1	Незагрязненный до умеренно загрязненного	(малоопасная)
2	Умеренно загрязненный	Умеренная
3	Среднезагрязненный	(умеренно опасная)
4	Сильнозагрязненный	Сильная
5	Сильнозагрязненный до чрезмерно загрязненного	(опасная)
6	Чрезмерно загрязненный	Чрезмерная (чрезмерно опасная)

В течение почти 25 лет классификация загрязненности ДО по *Г. Мюллеру* находит широкое применение в Германии. Даже во времена очень сильного загрязнения поверхностных водотоков, например реки Рейн в начале 70-х годов или реки Эльба в начале 90-х, деление на семь классов оказывалось достаточным. В 1993 г. Международной комиссией по охране Эльбы для классификации ТМ в ДО и оценки биологического состояния водных объектов в бассейне Эльбы была принята семиступенчатая система, которая практически идентична классификации *Г. Мюллера*.

Для классификации загрязнения ДО и оценки уровня техногенной нагрузки на водные объекты нами рекомендуется использовать концентрации четырех тяжелых метал-

лов: кадмия (Cd), свинца (Pb), ртути (Hg), цинка (Zn) и мышьяка (As). По определению Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), Cd, Pb, Hg являются самыми опасными ТМ в природной среде. В соответствии с ГОСТ 17.4.1.02–83 упомянутые элементы относятся к 1-му классу опасности [8].

На основе данной классификации составляются карты загрязнения ДО каждым элементом. Серии таких карт позволяют адекватно оценить техногенную нагрузку на водные экосистемы и выявить неблагоприятные в экологическом отношении акватории [9].

Весьма важным при изучении техногенной загрязненности ДО является учет их минерального состава, особенно для проб, отобранных на разных плесах. Минеральный состав ДО является одним из главных факторов, определяющих их сорбционную способность, гидрофильность и ионный обмен. Этими свойствами в наибольшей мере отличаются глинистые минералы, поскольку они характеризуются высокой удельной поверхностью и кристаллохимическим строением базальных поверхностей и боковых сколов. Как известно, удельная поверхность определяется суммарной поверхностью всех кристаллографических плоскостей в минерале, доступных для дисперсионной среды.

Изучение минерального состава ДО проводилось методом рентгеновской дифрактометрии на кафедре инженерной и экологической геологии МГУ им. М.В. Ломоносова. Результаты исследований показали, что минеральный состав ДО достаточно однороден и соответствует продуктам размыва ледни-

ковых отложений. В песчаной фракции преобладает кварц, в значительно меньшей степени представлены полевой шпат (микроклин), роговая обманка и альбит. Глинистая фракция (< 0,002 мм) представлена иллитом, гидрослюдой, каолинитом и хлоритом. В образцах, отобранных в районе г. Осташкова, отмечено значительное содержание кальцита (8...9%), возможно, техногенного происхождения. То есть «неоднородность» минерального состава ДО не должна сказываться на уровне загрязненности проб.

Основное внимание при отборе проб ДО было уделено Осташковскому (Городскому) плесу, который испытывает максимальную техногенную нагрузку от Осташковского промузла, а также западному берегу, вдоль которого расположены многочисленные турбазы и «дикие стоянки» автотуристов, использующих единственное шоссе с асфальтовым покрытием: Осташков – Хитино – Ботово – Нов. Ельцы – Свапуще – Залучье. (рис. 1, табл. 2).

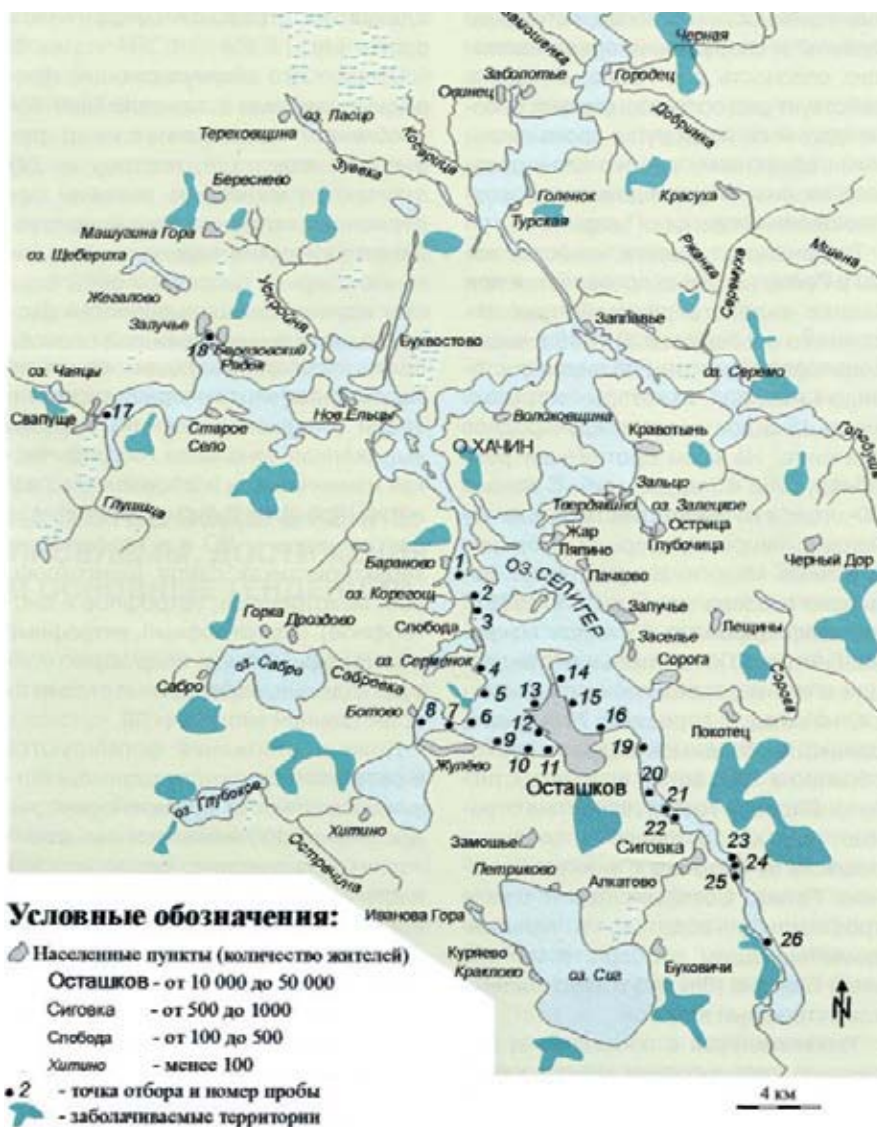


Рис. 1. Схематическая карта озера Селигер и точки отбора проб ДО в 2000 г.

Fig. 1. Map of the Lake Seliger and sampling points of bottom sediments in 2000

Таблица 2. Группировка проб донных отложений по плесам

Table 2. Grouping of samples of bottom sediments at water areas

Акватория	Номер пробы	
	2000 г.	2004 г.
Березовский плес	17, 18	27, 6, 5, 20, 11, 12, 10
Городской плес (западная часть)	1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13	3, 31, 15, 8, 9, 32, 29, 22, 14, 30
То же (восточная часть)	14, 15, 16, 19	34, 19, 26, 13
То же (монастырская часть)	-	1, 7
Селижаровский плес	20, 21, 22, 23, 24, 25	18, 35, 25, 17, 23
Ботовский залив	7, 8	28

По техническим возможностям в 2004 г. дополнительно удалось отобрать пробы в Березовском плесе (пробы № 5, 20, 11, 12, 10), в глубоководной части Городского плеса (проба № 9) и у восточного берега вблизи Нило-Столобенской пустыни (пробы № 1 и 7) (табл. 2).

Определение концентраций ТМ в пробах ДО проводилось атомно-адсорбционным методом после их разложения «царской водкой» в Институте геохимии окружающей среды Гейдельбергского университета (ФРГ). Данная методика и решение ряда методических проблем, неизбежно возникающих при изучении ДО, неоднократно публиковались [5,6,9], поэтому в данной работе они не приводятся. Результаты изучения загрязненности

ДО озера Селигер ТМ показали, что концентрации их во фракции <0,02 мм варьируют в следующих пределах: Cd – от 0,17 до 0,80 мг/кг; Pb – от 8,7 до 193,8; Hg – от 0,09 до 1,07; Zn – от 77,2 до 294,2 мг/кг. По этим данным построена карта-схема загрязненности ДО озера Cd, Pb, Zn и Cr (рис. 2).

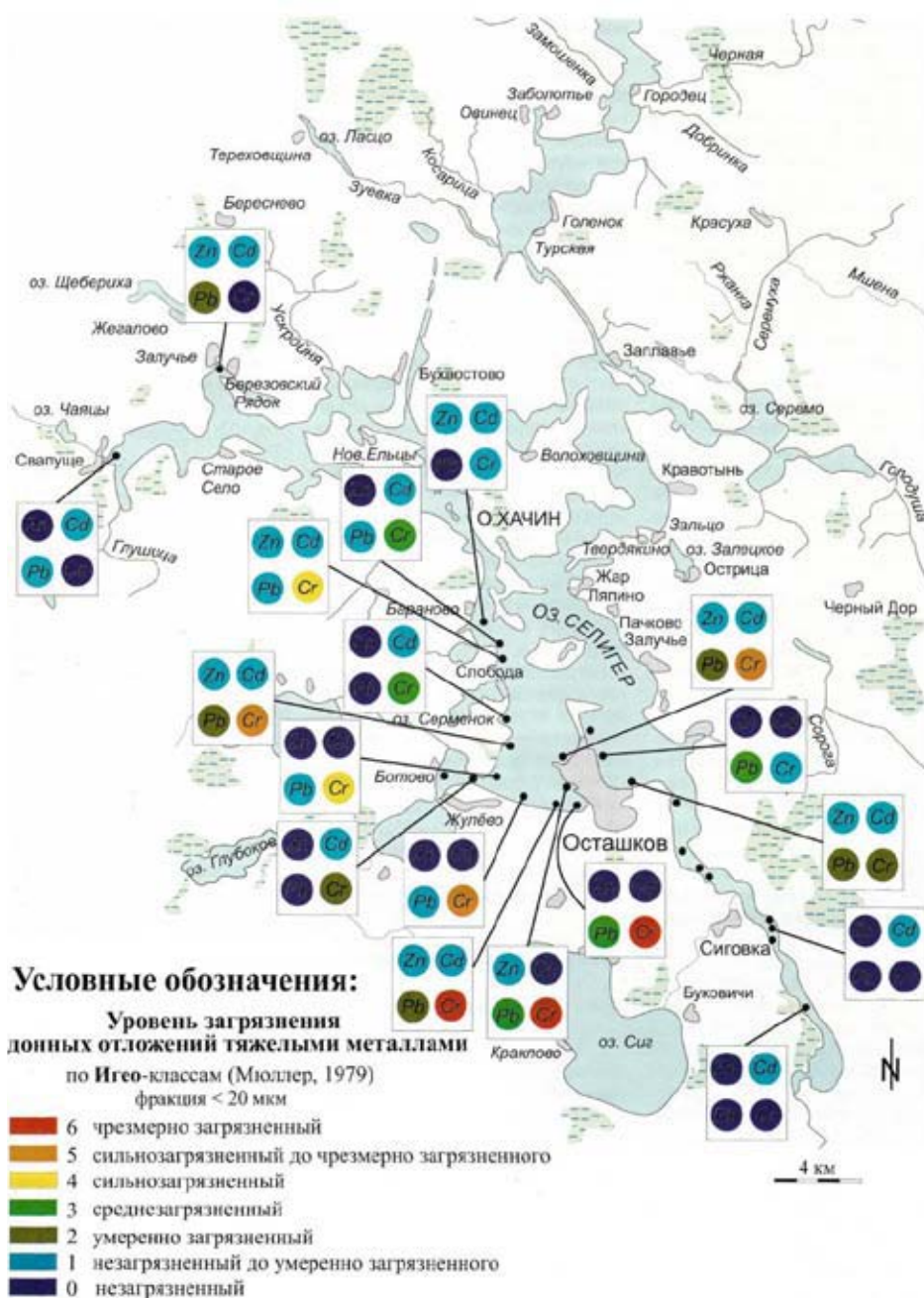


Рис. 2. Загрязнение донных отложений озера Селигер (Тверская область) цинком (Zn), кадмием (Cd), свинцом (Pb) и хромом (Cr) в 2000 г.

Fig. 2. Contamination of bottom sediments of the Lake Seliger with zinc (Zn), cadmium (Cd), lead (Pb) and chromium (Cr) in 2000

Базовым исследованием было определение концентраций четырех ТМ 1-го класса опасности: Cd, Pb, Hg, Zn. Также было изучено загрязнение ДО элементами 2-го класса опасности: хромом (Cr), медью (Cu), никелем (Ni).

В соответствии с принятой методикой уровень загрязнения ряда проб вдоль западного берега (№ 1, 4 и 6) может быть охарактеризован 1-м Игео-классом по свинцу и по цинку (проба № 1), что обусловлено загрязнением ДО топливно-смазочными материалами в связи с наличием большого числа стоянок автотуристов, а также маломерных судов. Отложения Березовского плеса (пробы № 17 и 18) и Ботовского залива (пробы № 7 и 8) характеризуются содержанием ТМ на уровне их фоновых значений.

Наибольшее загрязнение ДО характерно для акваторий, прилегающих к г. Осташкову. Максимальный уровень его отмечается по Pb: пробы, отобранные у кожевенного завода и в акватории речного порта (соответственно № 12 и 15), характеризуются 3-м Игео-классом, а у промплощадки и нефтебазы (№ 11 и 13) – 2-м Игео-классом. Загрязнение Zn вокруг Осташкова и в Селижаровском плесе (пробы № 23, 24 и 25) стабильно – на уровне 1-го Игео-класса; загрязнение Cd – отмечено только в двух точках: у нефтебазы (проба № 13) и в Селижаровском плесе (проба № 24) – на уровне 0,6 мг/кг, что соответствует 1-му Игео-классу. Не отмечено какое-либо загрязнение ДО ртутью. Содержание Hg во фракции <0,02 мм находится на уровне фоновых значений, кроме одной пробы (№ 15), взятой у речного вокзала г. Осташкова.

Нашими исследованиями установлены аномально высокие концентрации валового Cr в сорбирующей фракции, что обусловлено спецификой промышленного производства города (основное промышленное предприятие – кожевенный завод). Хотя Cr относится лишь к элементам 2-го класса опасности по ГОСТу [9], чрезмерное его накопление в воде и ДО озера может губительно сказываться на биоте.

Концентрации валового Cr в ДО озера варьируют в следующих пределах: от 21,5 до 12 717,1 мг/кг. Максимальные значения характерны для акватории озера, прилегающей к промзоне города. В соответствии с принятой методикой уровень загрязнения ДО хромом (пробы № 11, 12 и 10) может быть охарактеризован 6-м Игео-классом. Это мак-

симальные значения содержания валового хрома, когда-либо зафиксированные за всю 12-летнюю практику подобных исследований в бассейне Верхней Волги. Загрязнение Cr прослеживается на всей западной части Осташковского плеса, в точках 13 и 9 оно еще на уровне 5-го Игео-класса. Минимальные его значения (на уровне геохимического фона) характерны для Ботовского залива (пробы № 7 и 8), Березовского (пробы № 17 и 18) и Селижаровского (пробы № 23–25) плесов.

Базовым исследованием, как и в 2000 г., было определение концентраций четырех ТМ I класса опасности: Cd, Pb, Hg и Zn, используемых для классификации загрязнения ДО и оценки уровня техногенной нагрузки [11]. Также было изучено загрязнение осадков элементами II класса опасности: Cr, Cu, Ni.

В 2004 г. содержание ТМ в ДО составило: Cd – от 0,34 до 1 мг/кг; Pb – от 7 до 157; Hg – от 0,06 до 3,76; Zn – от 59 до 324 мг/кг. За эти годы несколько увеличилась загрязненность ДО также Cd и Hg, но по Pb и Zn остается довольно стабильной.

С использованием этих данных составлены компьютерные карты загрязненности ДО озера Селигер Cd, Zn, Pb и Cr по состоянию на 2000-й и 2004 гг. приведены на рисунках 2 и 3.

Серии подобных карт позволят адекватно оценивать техногенную нагрузку на озерные экосистемы и динамику ее изменения, а также выявлять и ранжировать неблагоприятные в экологическом отношении территории.

В соответствии с принятой методикой уровень загрязнения ДО по Pb вдоль западного берега может быть охарактеризован 1-м (пробы № 29, 32, 8 и 3) и 2-м Игео-классом (проба № 31). Также 2-м классом характеризуется загрязненность глубоководной части Городского плеса (проба № 9).

Это обусловлено возрастанием рекреационной нагрузки на акваторию озера (из-за наличия большого числа турбаз и стоянок автотуристов), а также в результате загрязнения ТСМ от маломерных судов, использования этилированного бензина. По Zn лишь отдельные пробы показывают загрязнение на уровне 1-го Игео-класса (пробы № 28, 26, 30 и 23). Отложения Березовского плеса характеризуются содержанием ТМ на уровне их фоновых значений, только отдельные пробы показывают слабое загрязнение Pb и Cd.

Наибольшее загрязнение ДО, как и в 2000 г., характерно для акваторий, прилегающих

к г. Осташкову. Среди элементов I класса опасности максимальное загрязнение наблюдается по Pb: пробы, отобранные у кожевенного завода и в акватории речного порта (соответственно № 14 и 19), характеризуются 3-м Игео-классом. Несколько возросло загрязнение Zn в районе промышленной зоны Осташкова – 2-й Игео-класс. Загрязнение Cd вокруг Осташкова и в Селижаровском плесе находится на уровне 1-го Игео-класса, только проба № 22 характеризуется аномальными значениями на уровне 3-го Игео-класса (рис. 3).

Как и в 2000 г., в 2004 г. сохраняются аномально высокие концентрации валового Cr

в районе промышленной зоны и кожевенного завода г. Осташкова: уровень загрязнения ДО по Cr может быть охарактеризован 6-м Игео-классом (пробы № 14 и 22). Интересно отметить, что максимальные значения концентраций Cr, полученные в эти годы разными методами, практически совпадают и равны соответственно 12 717,1 и 12 158 мг/кг. Концентрации валового Cr во фракции менее 0,02 мм в 2004 г. варьировали от 27 до 12 158 мг/кг. Пробы вдоль западного побережья и в глубоководной части Городского плеса характеризуются 3-м и 4-м Игео-классами, а вдоль восточного побережья – 2-м. Загрязнение Cr

не отмечается в Березовском и Селижаровском плесах (рис. 3).

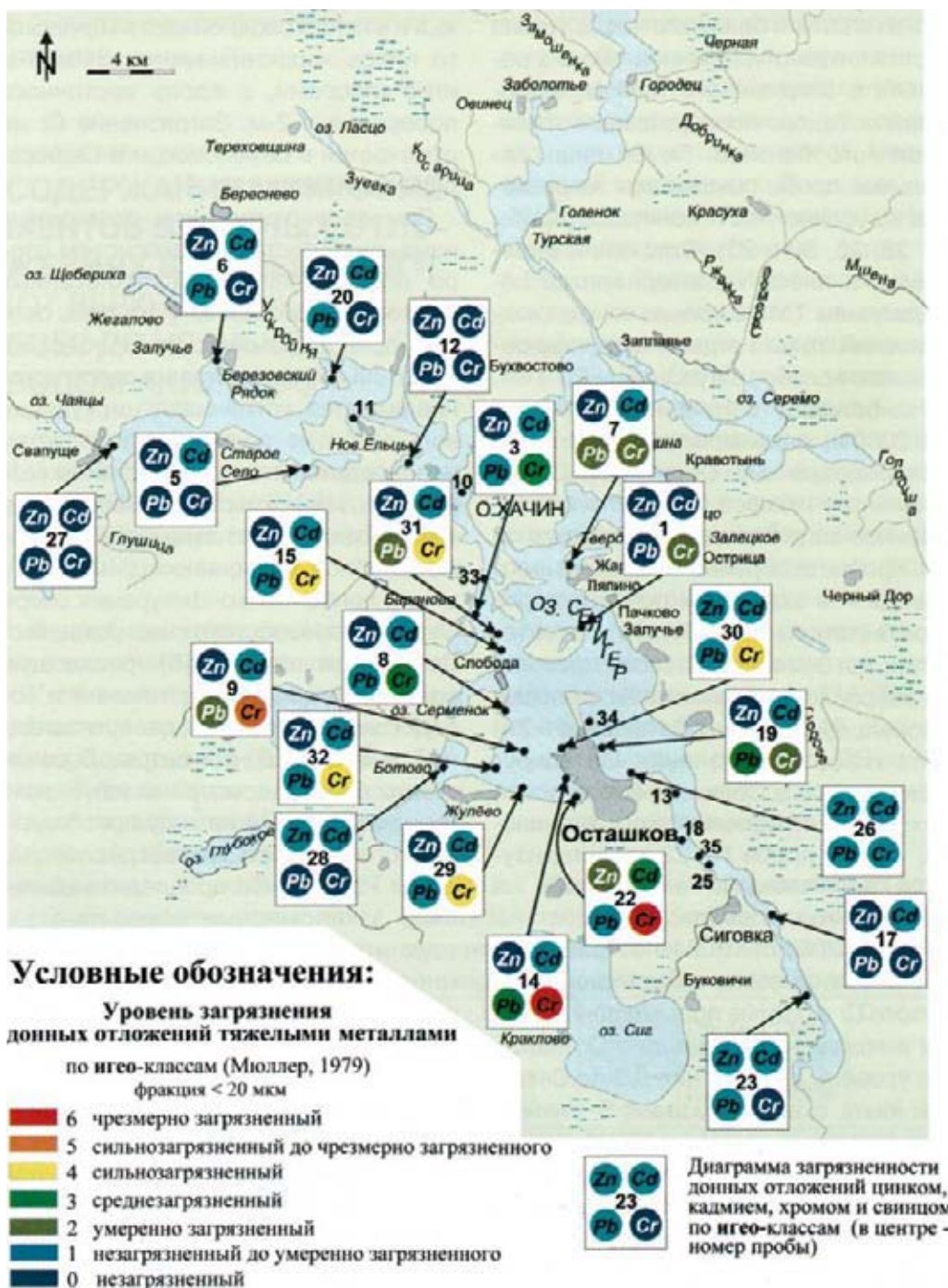


Рис. 3. Загрязнение ДО озера Селигер Zn, Cd, Pb и Cr в 2004 г.

Fig. 3. Contamination of bottom sediments of the Lake Seliger with zinc (Zn), cadmium (Cd), lead (Pb) and chromium (Cr) in 2004

При прогнозировании возможных изменений состояния экосистем озера под воздействием техногенных факторов необходимо учитывать особенности динамических процессов. В летний период, когда на озере устанавливается устойчивая циркуляция вод, развитие течений определяется непосредственным воздействием ветра на его поверхность [6]. Весь спектр течений формируется на фоне крупномасштабной циклонической циркуляции, а лопастная конфигурация озера Селигер способствует ее усилению. По данным авторов [4], решающую роль в формировании течений в Городском плесе играют северо-западный и юго-западный ветры. В связи с этим были рассмотрены изменения концентраций ТМ по ходу преобладающих течений при этих ветрах.

Для Pb, Zn и Cd проследить какие-либо закономерные изменения затруднительно. Это можно объяснить многочисленностью и разнообразием источников этих металлов (маломерный флот, турбазы, автомобильный транспорт и др.), а также близкими к норме значениями. Максимальное поступление Cr в ДО идет в основном из одного источника – промышленной зоны Осташкова (Городской плес, западная часть); распределение его концентраций по ходу основных течений носит вполне закономерный характер (рис. 4).

При северо-западном ветре в южной части плеса формируются циклонические течения, способствующие перераспределению Cr из района промышленной зоны (пробы № 14 и 22) в глубоководную (№ 9) и южную (№ 32 и 29) части плеса. При юго-западном ветре формируется течение, способствующее перераспределению Cr к западному берегу в район пос. Слобода. Севернее поселка (проба № 15) это течение раздваивается к деревне Бараново (№ 31 и 3) и к Нило-Столобенской пустыни (№ 1 и 7). При этом в районе Бараново формируется геохимическая аномалия с концентрациями Cr в ДО на уровне 4-го Игео-класса, а у Нило-Столобенской пустыни – на уровне 2-го.

Наличие постоянного источника Cr и системы течений в Городском плесе создают опасность загрязнения рекреационных зон озера, которые, казалось бы, удалены на достаточно большое расстояние от него. Продолжающееся же загрязнение экосистем озера Cr на таком высоком уровне может привести

к тому, что умеренное загрязнение на этих участках может перейти в сильное.

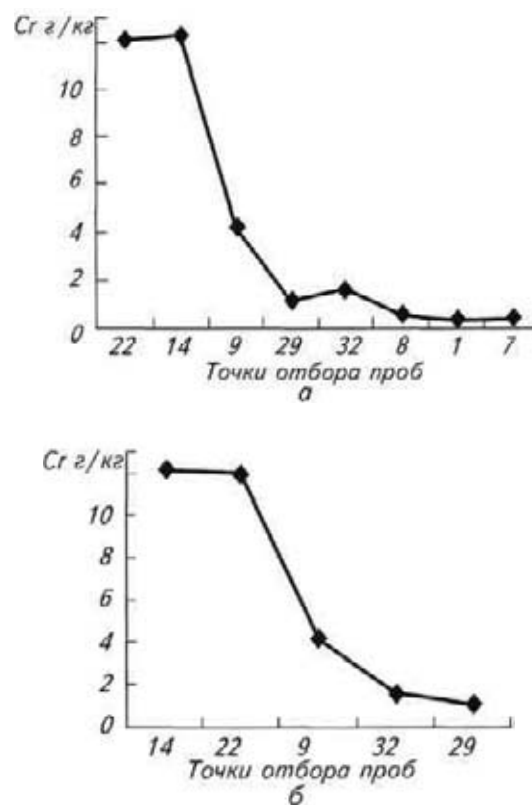


Рис. 4. Распределение Cr в ДО озера Селигер (Городской плес, западная часть) по ходу основных течений: а, б – соответственно при юго-западном и северо-западном ветрах

Fig. 4. Distribution of Cr in the western part of the Lake Seliger along the main currents: а, b – respectively at the south-west and north-west winds

Заключение

Исследования загрязненности озера Селигер в 2000 и 2004 гг. показали, что ДО является наиболее приемлемым индикатором оценки загрязнения водных экосистем, не требующим трудоемких и дорогостоящих режимных наблюдений. С достаточной для практики точностью допустимо нивелировать различия в гранулометрическом составе ДО путем выделения «сорбирующей» фракции ($d < 0,02$ мм). Выделение данной фракции позволяет не только определять неблагоприятные в экологическом отношении места, но и объяснять формирование геохимических аномалий в ДО акваторий, удаленных на большие расстояния от источника. Формирование этих аномалий хорошо согласуется с особенностями гидроди-

намики озера (наличием устойчивых течений при преобладающих ветрах).

За четырехлетний период не произошло улучшения экологической ситуации. Техногенная нагрузка на водные экосистемы Селигера, оцененная по содержанию ТМ I класса опасности, является слабой, в акваториях г. Осташкова – умеренной. Загрязнение ДО Сг является «болевым точкой» озера. Аномальное его содержание в ДО характерно для Городского плеса, что обусловлено спецификой промышленности города. Загрязнение Сг здесь классифицируется как сильное и даже чрезмерное. При этом следует еще раз подчеркнуть, что максимальные значения концентраций Сг в 2000-м и 2004 гг. практически совпадают, но среднее значение уменьшилось на 19%. Хотя Сг относится к химическим элементам II класса опасности, его мониторингу следует уделять особое внимание. Поступая в организм человека по трофическим цепям, с водой, он может способствовать развитию рака легких, злокачественным образованиям в желудочно-кишечном тракте, дерматитам.

Стабильно хорошее экологическое состояние характерно для ДО Березовского и Селижаровского плесов. Тем не менее средние значения концентраций ТМ в отложениях Селижаровского плеса несколько возросли.

Проведенные работы впервые позволили охарактеризовать загрязненность ДО озера Селигер с современных позиций изучения песчано-глинистых дисперсных систем. Главные результаты этих работ могут быть кратко резюмированы следующим образом:

1. Техногенная нагрузка на водные экосистемы озера, оцененная по содержанию ТМ 1-го класса опасности в сорбирующей фракции донных отложений, является слабой или малоопасной.
2. Умеренная нагрузка на водные экосистемы отмечена только по Рb у г. Осташкова (2-й и 3-й Игео-классы).
3. Аномальные значения содержания ТМ в сорбирующей фракции характерны только для валового Сг, что обусловлено спецификой промышленности города.

Библиографический список

1. *Даувальтер В.А.* Концентрации тяжелых металлов в донных отложениях озер Кольского полуострова как индикатор загрязнения водных экосистем // Проблемы химического и биологического мониторинга экологического состояния водных объектов нашего Севера. – Апатиты, 1993.
2. *Коломийцев Н.В., Корженевский Б.И., Ильина Т.А. и др.* Загрязнение водных экосистем озера Селигер тяжелыми металлами // Мелиорация и водное хозяйство. – 2004. – № 5. – С. 43–46.
3. *Коломийцев Н.В., Ильина Т.А., Киселева О.Е., Иванов Г.Н.* Тяжелые металлы в донных отложениях озера Селигер // Мелиорация и водное хозяйство. – 2006. – № 5. – С. 21–25.
4. *Косов В.И., Косова И.В.* Экология оз. Селигер. – Тверь: Булат, 2001. – 343 с.
5. *Mueller G.* Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins – Veraenderungen seit 1971 // Umschau 79, 1979. – Н. 24. – S. 778–783.
6. *Ackermann F.* A Procedure for Correcting the Grain Size Effect in Heavy Metal Analysis // Environmental Technology. – 1980. – Lett. 1. – P. 518–527.
7. *Turekian K.K., Wedepohl K.H.* Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust // Geological Society of America, Bulletin. – 1961. – Vol. 72. – P. 175–192.
8. ГОСТ 17.4.1.02-82. Охрана природы. Почвы (ОПП). Классификация химических веществ для контроля загрязнения. Введен 01.01.1985 (без ограничения).
9. *Коломийцев Н.В., Райнин В.Е., Ильина Т.А. и др.* Исследования загрязненности донных отложений как основа мониторинга состояния водотоков // Мелиорация и водное хозяйство. – 2001. – № 3. – С. 11–15.
10. Экологические функции литосферы / Под ред. В.Т. Трофимова. – М.: МГУ, 2000. – 432 с.
11. *Коломийцев Н.В., Ильина Т.А., Зимица-Шалдыбина Л.Б.* Загрязнение донных отложений как характеристика техногенной нагрузки на водные экосистемы // Современные проблемы мелиорации и пути их решения. – М.: ВНИИГиМ, 1999. – Т. 2. – С. 103–119.