

ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ, ГЕОХИМИЧЕСКАЯ И БИОИНДИКАЦИОННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОЗЕРА ИЛЬМЕНЬ

© 2011 И.А. Кузьмина¹, О.В. Кузнецова², Т.А. Асанова³

¹ Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого

² Новгородский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

³ Новгородское отделение Государственного научно-исследовательского института
озерного и речного рыбного хозяйства

Поступила в редакцию 13.05.2011

Исследованы вопросы состояния оз. Ильмень по гидрохимическим, геохимическим и биоиндикационным характеристикам. На основе анализа результатов отбора проб воды, донных отложений, моллюсков за период с 2008 по 2009 г. сделаны выводы об отсутствии прямой зависимости между превышениями ПДК тяжелых металлов в воде и образования локальных точек загрязнения тяжелыми металлами в донных отложениях. Наблюдается прямая зависимость между заболеванием моллюсков и качеством донных отложений.

Ключевые слова: мониторинг, тяжелые металлы, гидрохимия, донное отложение, качество воды, моллюски, биомаркер

Озеро Ильмень является одним из самых больших озер ледникового происхождения Северо-Западного региона. Сток из Ильменя осуществляется через реку Волхов, в истоке которой расположен г. Великий Новгород. Площадь водосбора Волхова составляет около 5% общей площади Ильмень-Волховского бассейна, поэтому на гидрохимический состав воды в реке Волхов большое влияние оказывает Ильмень. Для города озеро является одним из главных источников пресной воды, обостряющийся дефицит которой занимает особое место в числе глобальных экологических проблем. В настоящее время пресноводные озера деградируют и исчезают с увеличивающейся скоростью, при этом деятельность человека или в ряде случаев, напротив, его пассивность – главные причины гибели водоемов. Поэтому оценка современного состояния озера Ильмень является крайне необходимой для разработки плана мероприятий, направленных на предотвращение его деградации.

Современный Ильмень – мелководное озеро с плоским дном из 10-метрового ила. Размеры и форма озера сильно изменяются вследствие значительных внутригодовых и межгодовых колебаний уровня его вод в условиях плоской равнинной поймы. При высоких колебаниях все берега озера, кроме северо-западного и юго-западного, затопляются на протяжении 2-15 км. При этом площадь водной поверхности увеличивается на 10-15%. В озеро впадает 19 рек длиной более 10 км, и несколько сот ручьев. Наиболее

крупные реки, впадающие в озеро: Мста с годовым расходом воды 38% общего поверхностного притока в озеро, Ловать (30%), Пола (13%) и Шелонь (13%) [1]. Весь сток озеро разгружает через реку Волхов, которая за год выносит в Ладугу в среднем 17 км³ вод [4, 6]. Коэффициент условного водообмена озера равен 4,3 [4]. Озеро, обладая малой глубиной (1-2 м в прибрежной зоне, и 4-5 м в центральной), меняет воду 4 раза в год, из чего следует ожидать сильную зависимость её химического состава от химического состава и объема речных стоков, а также возможность образования локальных проблемных зон, характеризующихся повышенной концентрацией вредных веществ.

Для оценки состояния озера Ильмень, кроме широко применяемой гидрохимической характеристики, могут быть использованы также геохимическая и биоиндикационная характеристики, каждая из которых имеет свои особенности. Геохимическая характеристика основывается на анализе химических показателей донных отложений и, в отличие от гидрохимической, характеризующей состояние водотока преимущественно на момент опробования, её показатели более устойчивы во времени и потому надежнее отражают состояние водного объекта. Биоиндикационная характеристика основана на использовании в качестве естественного биомаркера для оценки состояния водной среды двустворчатых моллюсков, малоподвижность и фильтрационный тип питания которых способствуют накоплению большинства загрязняющих веществ. Все три характеристики связаны между собой и в совокупности дают наиболее полную картину состояния водоема, так как позволяют оценить последствия длительного антропогенного воздействия на водоем и его обитателей.

Кузьмина Ирина Анатольевна, старший преподаватель кафедры химии и экологии. E-mail: irina-nov@mail.ru

Кузнецова Ольга Валерьевна, гидролог. E-mail: ochelp@yandex.ru

Асанова Татьяна Аликовна, научный сотрудник. E-mail: asanovatatjana@rambler.ru

Цель работы: анализ состояния озера Ильмень по гидрохимической, геохимической и биоиндикационной характеристикам, которые при совместном рассмотрении позволяют получить наиболее полную картину этого состояния.

Материал и методика исследования. Гидрохимический анализ проводился на основании квартальных отборов проб, проведенных подразделением «Новгородского областного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (ГУ НЦГМС) в период с 2008 по 2009 гг. Схема расположения точек отбора проб на озере Ильмень представлена на рис. 1.

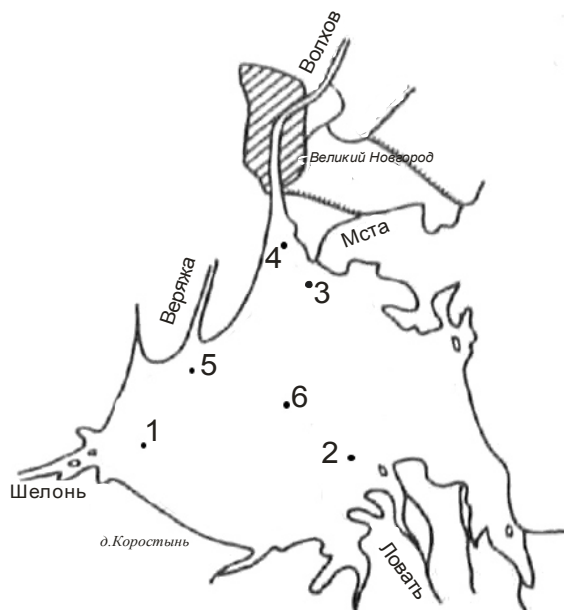


Рис. 1. Точки отбора проб на озере Ильмень

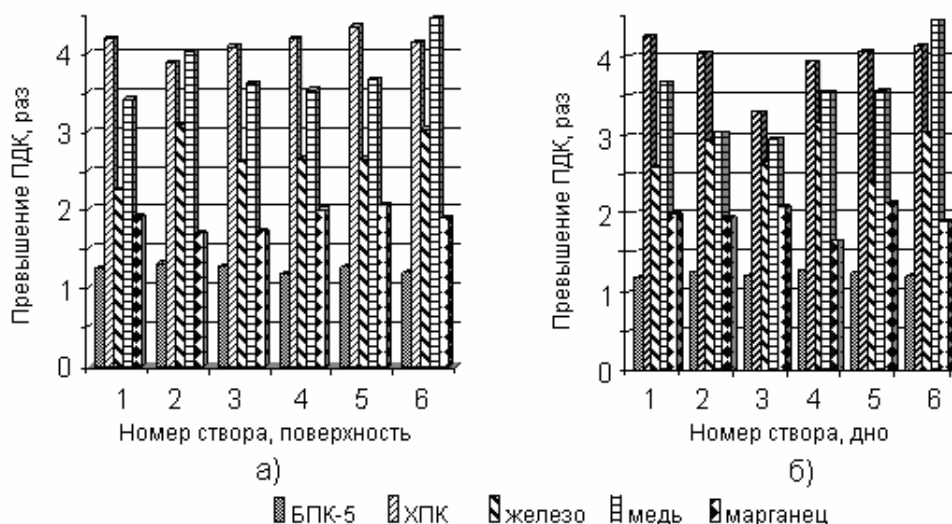


Рис. 2. Значения превышений ПДК: а) у поверхности; б) у дна

Зафиксированные превышения ПДК загрязняющих веществ изменяются от створа к створу незначительно, в пределах 1%. Отличие значений в 6 створках между поверхностью и дном также колеблется в пределах 1% (см. рис. 2). Такая пространственная и глубинная однородность воды в

Химический анализ проб проводился по методикам, вошедшим в Федеральный перечень [8], с учетом дополнений и изменений к нему по состоянию на 2009 г. Геохимический анализ проводился на основе исследования проб донных отложений, отобранных Кузьминой И.А. зимой 2009 г. Для установления форм нахождения тяжёлых металлов в донных отложениях использовался фазовый анализ, основанный на последовательной обработке проб различными экстрагентами с химико-аналитическим исследованием полученных вытяжек. Концентрации металлов определялись атомно-абсорбционным методом.

Биоиндикационный анализ основывался на оценке состояния пищеварительной железы гидробионтов. Отбор моллюсков и гистологическое исследование железы были проведены Асановой Т.А. Железа извлекалась из раковины сразу после извлечения из воды и фиксировалась в жидкости Буэна или в 10% растворе формалина. Толщина парафиновых срезов составляла 7 мкм, окраска железным гематоксилином по Гейденгайну.

Результаты исследования и их обсуждение. В результате гидрохимического анализа отобранных проб были зафиксированы превышения предельно допустимых концентраций БПК и ХПК, свидетельствующие о загрязнении вод озера Ильмень органическими веществами (рис. 2).

Ильмене, по-видимому, объясняется значительной перемешиваемостью водной толщи озера, вызванной ветровым воздействием и связанным с ним волнением [7]. Распределение среднего значения превышения ПДК загрязняющих веществ в озере имеет однородный характер с

небольшим увеличением в центральной части (ств. 6, см. рис. 2). Такая картина прослеживается и у поверхности, и у дна. Это может быть связано с тем, что на центр озера в меньшей степени оказывают влияние течения рек, впадающих в озеро, и здесь происходит усиленное образование донных отложений и увеличивается концентрация загрязняющих веществ.

При сравнении концентраций тяжелых металлов в озере и впадающих в него реках мы наблюдаем следующую картину. Концентрации марганца во впадающих реках примерно равны концентрациям в озере, но меньше, чем в вытекающей из него реке Волхов (рис. 3). Возможно, это объясняется вторичным загрязнением, источником которого является мелководный бар, находящийся в истоке Волхова, формирующий на дне застойные участки. Бар сформировался сравнительно недавно в верховьях Волхова, в основном вследствие антропогенного воздействия (постройки Волховской ГЭС), чему способствовали равнинное и низменное положение поймы и значительная ширина русла. Содержание меди в реке Волхов меньше, чем в озере и впадающих в него реках (рис. 3), здесь мы можем наблюдать переход взвешенных форм меди в донные осадки. В соответствии с рис. 3 это происходит на границе между озером и рекой, бар в данном случае играет роль фильтра.

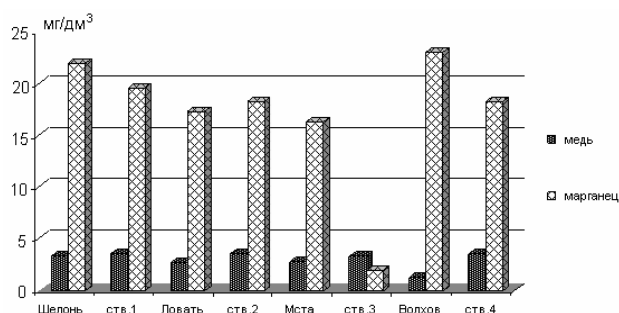


Рис. 3. Среднегодовые концентрации Cu и Mn в озере, впадающих в него реках и реке Волхов

Таким образом, гидрохимический анализ полученных данных за указанный период показал, что воды оз. Ильмень и впадающих в него рек содержат медь, марганец, железо, БПК, ХПК в концентрациях выше допустимых для водоемов рыбохозяйственного типа, к которому они относятся.

В ходе геохимического анализа в пробах донных отложений озера Ильмень определялись следующие тяжелые металлы: Cu, Mn, Zn, Fe, Pb, Cd. Валовое содержание Cu в донных отложениях превышает кларковое значения только в центре озера, впадении рек Мста и Веряжа. Наибольшие концентрации наблюдаются в центре озера, впадении Мсты и Веряжи. Содержание валовых, сорбционно-карбонатных, органоминеральных форм Cu больше в пробах донных отложений, имеющих илистый состав, что связано с высокой сорбционной емкостью ила. Кроме

этого необходимо отметить, что озеро Ильмень является «накопителем» тяжелых металлов, поступающих с водами впадающих в него рек. Силикатных форм Cu в местах впадения Ловати, Шелони и Веряжи больше, чем в других створах, что вероятно связано с гранулометрическим и композиционным составе донных отложений в этих створах. Описанные закономерности характерны также и для Mn, Pb, Cd и Fe.

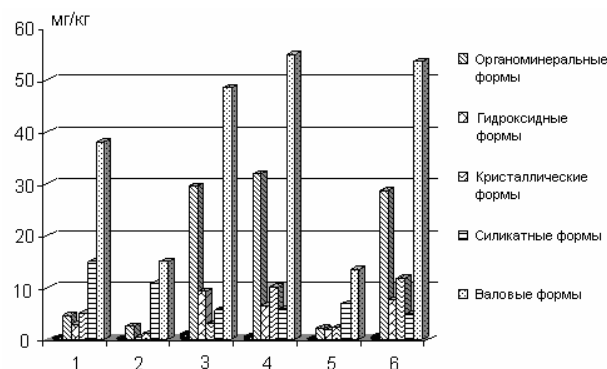


Рис. 4. Формы нахождения Cu в пробах донных отложений озера Ильмень

Для характеристики подвижности металла в донных отложениях мы объединили выявленные формы нахождения в две группы: подвижные формы (сорбционно-карбонатные, органоминеральные, гидроксидные) и устойчивые (кристаллические и силикатные). Из рис. 5 видно, что только медь преобладает в устойчивой форме в местах впадения рек Шелонь, Ловать и Веряжа. В остальных случаях металлы преобладают в подвижных формах. Это позволяет предположить возможность загрязнения водной среды озера Ильмень при поступлении из донных отложений таких тяжелых металлов как Cu, Mn, Zn, Pb. Из-за мелководности (средняя глубина составляет 4 м, а в меженный период – 2-3 м) и подверженности сильному влиянию ветрового волнения в озере происходит интенсивное перемешивание воды, что может вызвать вторичное загрязнение водной толщи озера тяжелыми металлами, которые ранее входили в состав донных отложений.

При определенных условиях, приводящих к изменению гидродинамической обстановки, состава и свойств воды и других факторов, тяжелые металлы могут стать источником вторичного загрязнения водных масс. Это чаще всего происходит под влиянием протекающих в водных экосистемах физико-химических процессов (снижение pH и окислительно-восстановительного потенциала на границе раздела фаз «донные отложения – вода», создание дефицита растворенного кислорода в водной толще и в самих илах и др.) и микробиологических процессов (изменение величины pH и Eh в водной среде, трансформация неорганических соединений металлов в металлоорганические и др.). Кроме того, донные отложения являются средой обитания многочисленных

классов бентофауны, и накопление тяжелых металлов может привести к изменению их видового состава и нарушению трофической цепи биоценоза.

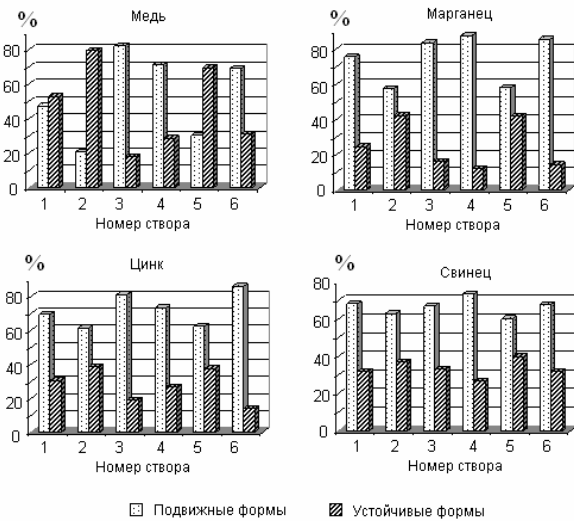


Рис. 5. Формы нахождения металлов в пробах ДО озера Ильмень (доля от валового содержания, %)

Из истока р. Волхов было отобрано и обследовано 65 особей *Unionidae*. Около 78% обследованных особей, имело различную степень патологии. Железа большинства моллюсков из истока Волхова находилась в плохом состоянии. В ней часто наблюдались атрофия, некроз пищеварительных трубочек, дистрофия их эпителиальной выстилки, а так же наличие вакуолей. У измененных трубочек обычно были стерты границы между гнездами с базофильными (темно окрашенными) и пищеварительными клетками. В ряде случаев эти границы отсутствовали вовсе. Щелевидный просвет в центре трубочки иногда отсутствовал. Встречались трубочки, в эпителии которых присутствовали светлые округлые пятна, вакуоли. В протоках железы довольно часто наблюдалось отслоение эпителиальной выстилки от базальной мембраны с последующим отторжением клеток в его просвет. У одной особи обнаружен опухолевый рост в эпителии протока, вероятно развивавшийся из эпителиальных клеток. Наблюдался полный некроз протока. Обычно обнаруженные изменения сопровождалась инфильтрацией гемоцитов в соединительную ткань, с образованием участков воспаления и гранулоцитом. Также отмечено формирование отеков и крупных полостей. Полости возникали на месте отмерших трубочек. Наблюдалось в соединительной ткани и скопление клеток с липофусцином вблизи кровеносных сосудов. Обнаружено присутствие больших округлых клеток с крупными ядрами, что похоже на неоплазию.

Состояние пищеварительной железы у моллюсков из устья р. Мста можно оценивать как среднетяжелое. Здесь встречались различные

патологии, которые заметно отличались от тех, что наблюдались у моллюсков из истока р. Волхов. В печени часто находились трубочки, пищеварительная выстилка которых имела крупные щелевидные разрывы, вследствие чего форма их просвета на срезах приобретала вид пятиконечной звезды. Так же в эпителии трубочек обнаружено присутствие светлых пятен, возможно вакуолей, а у некоторых отмечен отрыв эпителия от базальной мембраны. Явных патологических изменений в пищевых протоках не обнаружено, однако нужно отметить, что нередко встречались крупные щелевидные разрывы в их эпителии, очень похожие на те, что мы наблюдали в эпителии трубочек. В соединительной ткани были обнаружены обширные участки склероза. Вокруг поврежденных трубочек и протоков наблюдались обширные скопления клеток с коричневой цитоплазмой и крупным черным ядром, а так же образование крупных полостей в виде лакун. У одной особи в соединительной ткани обнаружены крупные скопление черных фрагментов, напоминающих по форме эритроциты, расположенные в виде гранул в основном на участках склероза. Идентифицировать и выявить происхождение образования этих элементов пока не удалось, однако не исключено, что такое явление может быть вызвано паразитарной инвазией.

У большинства моллюсков, собранных в месте у д. Коростынь, признаки патологии в пищеварительной железе почти отсутствовали. На срезах встречались в основном толстые трубочки с округлыми и ровными краями, где всегда присутствовал щелевидный просвет в центре. Целостность эпителия трубочек полностью сохранялась, при этом отчетливо видны границы между гнездами клеток или криптами с базофильными клеткам и пищеварительными. Пищевые протоки также находились в хорошем состоянии, без видимых патологических изменений. В соединительной ткани инфильтрации большого количества гемоцитов не наблюдалось, участки склероза почти отсутствовали, а присутствовали лишь везикулярные (запасающие углеводы) и адипогранулярные (содержащие гранулы белка, а также липиды и гликоген) клетки.

Таким образом, в результате проведенного биоиндикационного анализа было выявлено, что состояние пищеварительной железы у двустворчатых моллюсков с разных частей акватории оз. Ильмень заметно отличается, что может быть связано с неодинаковым качеством вод и донными отложениями на разных участках водоема.

Выводы: несмотря на то, что в толще вод озера нет локальных зон повышенных концентраций, чему способствует плоская форма чаши озера и высокий коэффициент водообмена и хорошая перемешиваемость, в донных отложениях наблюдаются места с повышенной концентрацией тяжелых металлов, такие, как дельта р. Мста, исток р. Волхов и центр озера. Концентрация

тяжелых металлов выше в пробах донных отложений, имеющих илистый состав (створы 3,4,6). Для тяжёлых металлов содержание подвижных форм по отношению к устойчивым формам достаточно высоко, что делает возможным переход тяжелых металлов, не находящихся в прочно связанной форме, в воду (десорбция) при химическом воздействии на донные отложения.

Донные отложения являются средой обитания двусторчатых моллюсков семейства *Unionidae*, их химический состав мог привести к патологическим изменениям в пищеварительной железе. Наибольшие концентрации тяжелых металлов в донных отложениях наблюдаются в районе истока р. Волхов и именно в этом районе наблюдается наибольшее количество особей с патологическими изменениями пищеварительной железы. Здесь находится бар, на котором происходит оседание части загрязняющих веществ, что приводит к вторичному загрязнению вод в районе истока реки Волхов. Особи с наименьшим количеством признаков патологии были обнаружены в районе д. Коростынь, что может объясняться наименьшими концентрациями подвижных форм металлов в этом районе т.к. это место является памятником природы с ограниченной хозяйственной деятельностью.

Гидрохимический анализ воды не показал прямой зависимости между превышениями ПДК тяжелых металлов в воде и образования локальных точек загрязнения тяжелыми металлами в донных отложениях. Напротив, между заболеванием моллюсков и качеством донных отложений наблюдается прямая зависимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Природные ресурсы больших озер СССР и вероятные их изменения / Институт озераедения АН СССР. Под. ред. *О.А. Алекина*. – Л.: Наука, 1984. 286 с.
2. Оценка экологического состояния рек бассейна Ладожского озера по гидрохимическим показателям и структуре гидробиоценозов / Под. ред. *И.С. Трифонова*. – СПб.: Изд-во «Лема», 2006. 130 с.
3. Рабочий проект. «Увеличение пропускной способности русла рек Волхов в истоке (218-222)» - первая очередь. ИНВЭКО-проект. – СПб, 1994.
4. *Бойцов, А.В.* Экосистема оз.Ильмень и его поймы / *А.В. Бойцов, В.Ю. Васильев, А.Д. Горбовская* и др. // С-Петербург. гос. ун-т. – СПб.: Изд-во С-Петерб. ун-та, 1997. 247 с.
5. *Нахишина, Е.П.* Марганец в пресных водах // Гидробиологический журнал. 1975. №2. С. 98.
6. *Грани, У.* Мониторинг озера Ильмень и его притоков / *У. Грани, В. Савин, Т. Мальцман* и др. – Новгород, 2001. 64 с.
7. *Кузнецова, О.В.* Исследование сезонной динамики распределения растворенных солей речных стоков в озере Ильмень // География, природные ресурсы и туристско-рекреационный потенциал Балтийского региона: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 45-летию кафедры географии, страноведения и туризма НовГУ имени Ярослава Мудрого 11-13 октября 2007 года. – Великий Новгород, 2007. С. 46-49.
8. РД 52.18.595-96. Федеральный перечень методик выполнения измерений, допущенных к применению при выполнении работ в области мониторинга загрязнения окружающей природной среды. – М.: Изд-во стандартов, 1996.

THE HYDROLOGICAL, GEOCHEMICAL AND BIOINDICATOR CHARACTERISTICS OF ILMEN LAKE

© 2011 I.A. Kuzmina¹, O.V. Kuznetsova², T.A. Asanova³

¹Novgorod State University named after Yaroslav the Wise

²Novgorod Center on Hydrometeorology and Environment monitoring

³Novgorod Branch of State Scientific Research Institute of Lake and River Fish Economy

Questions of Ilmen lake condition under hydrochemical, geochemical and bioindicator characteristics are investigated. On the basis of the analysis of water samples results, bottom deposits, mollusks from the period of 2008 to 2009 years conclusions on absence of direct dependence between exceeding the maximum concentration limit of heavy metals in water and formations of local points of pollution by heavy metals in bottom deposits are made. Direct dependence between disease of mollusks and quality of bottom deposits is observed.

Key words: *monitoring, heavy metals, hydrochemistry, bottom deposit, water quality, mollusks, biomarker*

Irina Kuzmina, Senior Teacher at the Department of Chemistry and Ecology.

E-mail: irina-nov@mail.ru

Olga Kuznetsova, Hydrologist. E-mail: ochelp@yandex.ru

Tatiana Asanova, Research Fellow. E-mail: asanovatatjana@rambler.ru