

УДК 504.064.36

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ГИДРО- И ГЕОХИМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ОЗЕРА ИЛЬМЕНЬ

И.А.Кузьмина*, О.В.Кузнецова

THE RESULTS OF HYDRO- AND GEOCHEMICAL ANALYSIS OF THE LAKE ILMEN

I.A.Kuz'mina*, O.V.Kuznetsova

*Институт сельского хозяйства и природных ресурсов НовГУ***Новгородский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, филиал ФГБУ «Северо-Западное УГМС», irina-nov@mail.ru*

Исследованы вопросы состояния оз. Ильмень на основании результатов гидро- и геохимического анализа проб воды и донных отложений, отобранных в период с 2008 по 2012 г.

Ключевые слова: мониторинг, оз. Ильмень, тяжелые металлы, гидрохимия, донные отложения, качество воды

The problems concerning the state of the lake Ilmen based on the results of hydro- and geochemical analysis of water samples and bottom deposits taken in the period from 2008 to 2012 are investigated.

Keywords: monitoring, Lake Ilmen, heavy metals, hydrochemistry, bottom deposition, water quality

Озеро Ильмень является одним из самых больших озер ледникового происхождения Северо-Западного региона. Сток из Ильменя осуществляется через р. Волхов, в истоке которой расположен 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. Таким образом, 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 [1]. Поэтому оценка современного состояния оз. Ильмень является крайне необходимой для разработки плана мероприятий, направленных на предотвращение его деградации.

Современный Ильмень — мелководное озеро с плоским дном, сложенным 10-метровой толщиной 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 впадают 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%) [2]. Весь сток озеро разгружает через р. Волхов, которая за год выносит в Ладогу в среднем 17 км³ вод [3, 4]. Коэффициент условного водообмена озера равен 4,3 [4]. Озе-

ро, 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.

Целью данной работы является сопоставительный гидро- и геохимический анализ вод оз. Ильмень, впадающих в него рек, и вытекающей из него реки Волхов.

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 2012 гг. Схема расположения точек отбора проб на оз. Ильмень представлена на рис. 1.

Химический анализ проб проводился по методикам, вошедшим в Федеральный перечень [5], с учетом дополнений и изменений к нему по состоянию на 2009 г.

Геохимический анализ проводился на основе исследования проб донных отложений, отобранных И.А.Кузьминой зимой 2009, 2010, 2011 гг. 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. Концентрации нефтепродуктов определялись флуориметрическим методом.



Рис.1. Точки отбора проб на озере Ильмень

Результаты 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).

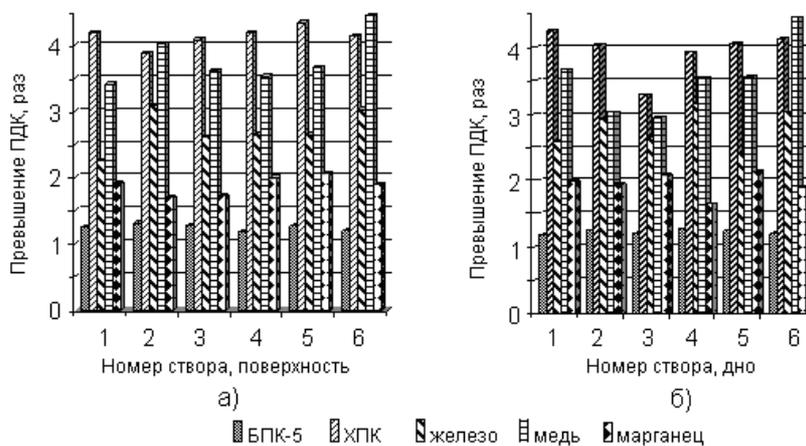


Рис. 2. Значения превышений ПДК: а) у поверхности; б) у дна

Зафиксированные превышения ПДК загрязняющих веществ изменяются от створа к створу незначительно, в пределах 1%. Отличие значений в шести створах между поверхностью и дном также колеблется в пределах 1% (см. рис. 2). Такая пространственная и глубинная однородность воды в Ильмене, по-видимому, объясняется значительной перемешиваемостью водяной толщи озера, вызванной ветровым воздействием и связанным с ним волнением [6].

Распределение среднего значения превышения ПДК загрязняющих веществ в озере имеет однородный характер с небольшим увеличением в центральной части (створ 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.

Концентрации биогенных форм азота и фосфора за рассматриваемый период не превышали установленных норм. Средние концентрации азота нит-

ритного и аммонийного были, в основном, на уровне предела обнаружения; азота нитратного изменялись от 0,08 мг/л до 1,12 мг/л; фосфора минерального — от 0,010 до 0,065 мг/л.

С 2010 г. наблюдается снижение уровня загрязнённости вод оз. Ильмень нефтепродуктами. Повторяемость превышающих норму концентраций нефтепродуктов уменьшилась в 2 раза по сравнению с 2009 годом. На всех вертикалях за период 2008 по 2012 г. отмечались единичные превышающие норму концентрации нефтепродуктов, в основном, до 1,2 ПДК.

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 р. 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 (по-

стройки Волховской ГЭС), чему способствовали равнинное и низменное положение поймы и значительная ширина русла.

Содержание меди в р. 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.

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 водоёмов рыбохозяйственного типа, к которому они относятся.

В ходе геохимического анализа в пробах донных отложений оз. Ильмень определялись следующие тяжёлые металлы: Cu, Mn, Zn, Fe, Pb, Cd.

Валовое содержание Cu в донных отложениях превышает кларковые значения в центре озера, впадении рек Мста и Веряжа.

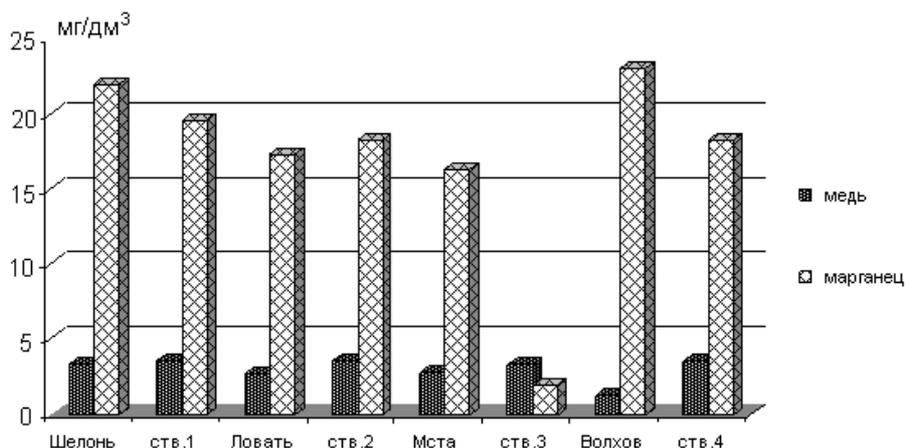


Рис. 3. Среднегодовые концентрации меди и марганца в озере, впадающих в него реках и р. Волхов

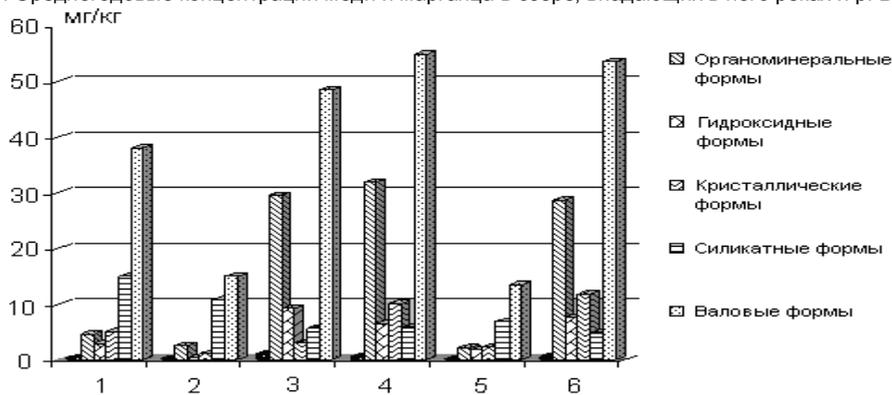


Рис. 4. Формы нахождения Си в пробах донных отложений оз. Ильмень

Содержание валовых, сорбционно-карбонатных, органоминеральных форм Си больше в пробах донных отложений, имеющих илистый состав, что связано с высокой сорбционной емкостью ила. Кроме этого, необходимо отметить, что оз. Ильмень является «накопителем» тяжелых металлов, поступающих с водами впадающих в него рек.

Силикатных форм Си в местах впадения Ловати, Шелони и Веряжи больше, чем в других створах, что, вероятно, связано с гранулометрическим и композиционным составом донных отложений в этих створах.

Описанные закономерности характерны также и для Mn, Pb, Cd и Fe.

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).

Долю от валового содержания металлов в пробах донных отложений оз. Ильмень в различных формах нахождения иллюстрируют диаграммы на рис. 5. 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 оз. Ильмень при поступлении из донных отложений таких тяжелых металлов, как Cu, Mn, Zn, Pb. Из-за мелководности (средняя глубина составляет 4 м, а в межженный период — 2—3 м) и подверженности силь-

ному 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.).

Была рассчитана корреляционная связь между концентрациями тяжелых металлов в донных осадках и придонных слоях воды. Коэффициент линейной корреляции Спирмена изменяется от -0,9 до 0,3. Таким образом, можно сказать, что линейной зависимости между концентрациями тяжелых металлов в донных осадках и придонных слоях воды не наблюдается.

Ещё одним значимым загрязнителем, выявленным в результате исследований донных отложений оз. Ильмень, являются нефтепродукты. Измеренные значения концентрации нефтепродуктов в донных отложениях озера приведены в таблице.

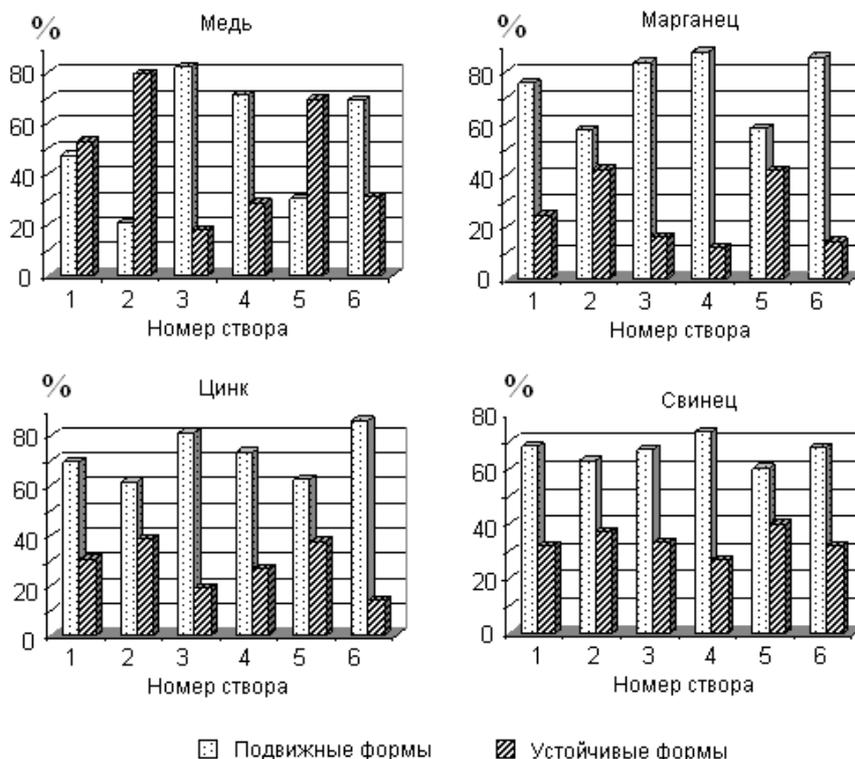


Рис. 5. Формы нахождения металлов в пробах донных отложений оз. Ильмень (доля от валового содержания, %)

Из приведённых данных следует, что наибольшие концентрации нефтепродуктов в донных отложениях озера отмечаются в истоке р. Волхов, что может быть связано с развитием судоходства, и в центре оз. Ильмень, в зоне с наименьшей скоростью течения, являющейся в силу этого естественным «сборником» загрязнителей, как приносимых водами впадающих рек, так и попадающих в озеро непосредственно. В остальных точках концентрации нефтепродуктов относительно невелики.

Содержание нефтепродуктов в донных отложениях оз. Ильмень

Номер пробы	Место отбора	Содержание нефтепродуктов, мг/г
1	Впадение р. Ловать	12,18
2	Впадение р. Шелонь	0,94
3	Центр оз. Ильмень	38,88
4	Впадение р. Мста	14,33
5	Исток р. Волхов	113,9

Несмотря на очевидную опасность нефтяного загрязнения донных отложений, нормативными документами их ПДК в водных объектах не установлены. Поэтому обычно степень загрязнённости донных отложений нефтепродуктами определяют по превышению концентраций относительно «фона» или «условного фона», в качестве которого используются концентрации нефтепродуктов в донных отложениях, отобранных в исследуемом водном объекте выше возможных источ-

ников загрязнения. «Фон», обусловленный наличием нефтепродуктов естественного происхождения, составляет для большинства водных объектов 0,01—0,30 мг/г [7]. В этом случае концентрации нефтепродуктов в донных отложениях оз. Ильмень могут быть оценены как повышенные (см. табл.).

В Санкт-Петербурге существуют критерии загрязнения стандартных донных отложений по концентрациям загрязняющих веществ [8]. Используя этот подход, донные отложения оз. Ильмень по содержанию тяжелых металлов можно отнести к классу 0 — чистые отложения; по содержанию нефтепродуктов — опасно загрязнённые отложения, что требует вмешательства.

Таким образом, ввиду отсутствия единого подхода к определению ПДК нефтепродуктов в донных отложениях, учитывающего возможные естественные причины локального повышения их концентраций, вопрос адекватной оценки уровня загрязнения донных отложений нефтепродуктами остаётся открытым и требует дополнительных исследований.

Выводы

Гидрохимический анализ воды не показал прямой зависимости между превышениями ПДК тяжелых металлов в воде и образования локальных точек загрязнения тяжелыми металлами в донных отложениях. Несмотря на то, что в толще вод озера нет локальных зон повышенных концентраций, чему способствует плоская форма чаши озера и высокий коэффициент водообмена, а также хорошая перемешиваемость, в донных отложениях наблюдаются места с повышенной концентрацией тяжелых металлов и нефтепродуктов, 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).

Результаты химического анализа проб донных отложений показали, что для тяжёлых металлов характерно повышенное содержание подвижных форм по отношению к устойчивым формам, что делает возможным переход тяжёлых металлов, не находящихся в прочно связанной форме, в воду (десорбция) при химическом воздействии на донные отложения.

1. Хендерсон-Селлерс Б., Маркленд Х.Р. Умирающие озёра. Причины и контроль антропогенного эвтрофирования. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 278 с.
2. Экосистема оз. Ильмень и его поймы / А.В. Бойцов, В.Ю. Васильев, А.Д. Горбовская и др.; Под ред. акад. РЭА Ю.Н. Сергеева. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 1997. 247 с.
3. Мониторинг озера Ильмень и его притоков / У. Грани, В. Савин, Т. Мальцман, Ю. Манхеймер, В. Задонская. Новгород, 2001. 64 с.
4. Рабочий проект. «Увеличение пропускной способности русла реки Волхов в истоке (218-222)» - первая очередь. ИНВЭКО-проект. СПб, 1994 г.
5. 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. 48 с.
6. Кузнецова О.В. Исследование сезонной динамики распределения растворенных солей речных стоков в озере Ильмень // География, природные ресурсы и туристско-рекреационный потенциал Балтийского региона: Материалы междунар. науч.-практ. конф. Великий Новгород, 2007. С. 46-49.

7. Нахшина Е.П. Марганец в пресных водах // Гидробиологический журнал. 1975. № 2. С. 98.
8. Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга [Электр. ресурс] // <http://www.bestpravo.ru/leningradskaya/ew-pravo/y6p.htm>

Bibliography (Transliterated)

1. Khenderson-Sellers B., Marklend Kh.R. Umirayushchie ozera. Prichiny i kontrol' antropogenno go evtrofirovaniya. L.: Gidrometeoizdat, 1990. 278 s.
2. Ekosistema oz.Il'men' i ego поймы / A.V. Boytsov, V.Yu. Vasil'ev, A.D. Gorbovsкая i dr.; Pod red. akad. REA Yu.N. Sergeeva. SPb.: Izd-vo S.-Peterb. un-ta, 1997. 247 s.
3. Monitoring ozera Il'men' i ego pritokov / U. Grani, V. Savin, T. Mal'tsman, Yu. Mankheymer, V. Zadonskaya. Novgorod, 2001. 64 s.
4. Rabochiy proekt. «Uvelichenie propusknoy sposobnosti rusla reki Volkhov v istoke (218-222)» - pervaya ochered'. INVEKO-proekt. SPb, 1994 g.
5. RD 52.18.595-96. Federal'nyy perechen' metodik vypolneniya izmereniy, dopushchennykh k primeneniyu pri vypolneniiy rabot v oblasti monitoringa zagryazneniya okruzhayushchey prirodnoy sredy. M.: Izd-vo standartov, 1996. 48 s.
6. Kuznetsova O.V. Issledovanie sezonnoy dinamiki raspredeleniya rastvorenykh soley rechnykh stokov v ozere Il'men' // Geografiya, prirodnye resursy i turistsko-rekreatsionnyy potentsial Baltiyskogo regiona: Materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Velikiy Novgorod, 2007. S. 46-49.
7. Nakhshina E.P. Marganets v presnykh vodakh // Gidrobiologicheskiy zhurnal. 1975. № 2. S. 98.
8. Normy i kriterii otsenki zagryaznennosti donnykh otlozheniy v vodnykh ob'ektakh Sankt-Peterburga [Elektr. resurs] // <http://www.bestpravo.ru/leningradskaya/ew-pravo/y6p.htm>