

## **ОЦЕНКА САМООЧИЩЕНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ОТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ (НА ПРИМЕРЕ МАЛЫХ РЕК УЛЬЯНОВСКОЙ ОБЛАСТИ)**

© 2011 Е.С. Ваганова, О.А. Давыдова

ГОУ ВПО «Ульяновский государственный технический университет», г. Ульяновск

Поступила 22.06.2011

Проведена оценка самоочищения малых рек Ульяновской области (р. Свияга и её притоки р. Гуща, р. Сельдь, р. Бирюч) от тяжелых металлов (Fe, Zn, Cu, Ni, Cr) по совокупности влияния физико-химических факторов. Установлен индекс загрязнения воды р. Свияга в сезонной динамике содержания тяжелых металлов.

**Ключевые слова:** самоочищение водных экосистем, тяжелые металлы, влияние физико-химических факторов.

Под самоочищением водной среды понимают совокупное влияние физических, химических, биологических факторов и процессов, направленных на снижение содержания загрязняющих веществ в воде до уровня, не представляющего угрозы для функционирования экосистемы. В экологическом смысле «самоочищение» является следствием способности к саморегулированию, через процессы включения поступивших в водный объект веществ в биохимические круговороты с участием биоты и физико-химических факторов [1-2].

Ульяновская область расположена в умеренно-континентальной области умеренного климатического пояса. Своеобразие природных условий, развитие промышленное и сельскохозяйственное производство, способствует существованию различных природных и техногенных источников поступления тяжелых металлов (ТМ) в окружающую среду, а также влиянию разнообразных факторов, способствующих самоочищению объектов окружающей среды. Таким образом, всё это определяет актуальность проводимого исследования, результаты которого могут использоваться в практической деятельности по принятию управленческих решений в области восстановления водных экосистем.

Цель и задачи работы – провести оценку экологического состояния малых рек Ульяновской области (р. Свияга и её притоки р. Гуща, р. Сельдь, р. Бирюч), исследовать влияние физико-химических факторов (температуры, pH, карбонатной жесткости) на самоочищение водных объектов от тяжелых металлов (Fe, Zn, Cu, Ni, Cr).

### **МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ**

Река Свияга является притоком р. Волга, исток находится на территории Ульяновской области (Кузоватовский район), течет с юга на север, впадает в р. Волга на территории Республики Татарстан (Свияжский залив). Для населения Ульяновской области р. Свияга выполняет важные функции: является объектом рекреации, источником воды для объектов промышленности и приемником для сточных вод предприятий [3].

*Ваганова Екатерина Сергеевна*, e-mail: [katrin\\_sv@bk.ru](mailto:katrin_sv@bk.ru);  
*Давыдова Ольга Александровна*, доктор хим. наук, проф.,  
e-mail: [olga1103@inbox.ru](mailto:olga1103@inbox.ru)

Объектами исследования послужили малые реки Ульяновской области – р. Свияга и её притоки (р. Гуща, р. Сельдь, р. Бирюч). Материалом для исследования служили образцы воды, донных отложений (ДО) р. Свияга и её притоков. В пробах воды, донных отложениях определялся ряд ТМ (Fe, Zn, Cu, Ni, Cr). Отбор проб воды и донных отложений осуществляли согласно ГОСТ Р 51592-2000, ГОСТ 17.1.5.01-80 соответственно, в весенний, летний и осенний периоды 2009-2010 гг. За исследуемый период общее количество проб воды составило 220 образца; донных отложений – 220. Объем проведенных исследований по физико-химическому анализу составил по воде и донным отложениям около 5 000 анализов.

Валовое содержание тяжелых металлов (Fe, Zn, Cu, Ni, Cr) в пробах воды, ДО определяли атомно-абсорбционным методом на спектрометре «Спектр-5М» по методике ПНД Ф 16.1:2.2:2.3:3.36-02. Определение pH-среды в пробах воды проводили потенциометрическим методом на иономере ИПЛ 301 по методике ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97. Карбонатную жесткость (Жк) в пробах воды определяли титриметрическим методом согласно ГОСТ 52407-2005.

Общую степень самоочищения р. Свияга и её притоков по отношению к тяжелым металлам рассчитывали по формуле:  $CC=100(C_n-C_k)/C_n$ , где CC – степень самоочищения, %;  $C_n$  и  $C_k$  – содержание металла в начальном и конечном створе участка соответственно [2]. Статистическая обработка экспериментальных данных осуществлена программами «Microsoft Excel», STATISTIKA 6.1.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Тяжелые металлы (ТМ) относятся к загрязняющим веществам, снижение содержания которых в водных объектах могут происходить за счет физических процессов массопереноса, сорбции и бионакопления, физико-химических процессов комплексообразования [1].

Под воздействием физико-химических факторов (температура, pH, Жк) в водных объектах происходит распределение ТМ между компонентами (вода, донные отложения) и, как следствие этого, могут наблюдаться процессы, которые можно отнести к

процессам самоочищения. Для оценки процессов самоочищения использовали такую характеристику, как степень самоочищения (СС). В работе проводится оценка экологического состояния р. Свияга и её притоков (р. Гуща, р. Сельдь, р. Бирюч) по содержанию ТМ (Fe, Zn, Cu, Ni, Cr) при комплексном влиянии физико-химических факторов (температура, рН, Жк).

На рис. 1 приведены степени самоочищения воды и донных отложений р. Свияга в сезонной динамике содержания ТМ.

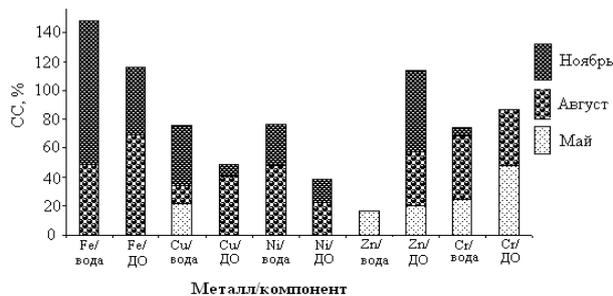


Рис. 1. Степень самоочищения воды и донных отложений р. Свияга в сезонной динамике содержания ТМ

При исследовании степени самоочищения р. Свияга в сезонной динамике содержания ТМ установлено, что высокая степень самоочищения воды и ДО в весенний период отмечается от Zn, Cr; от Cu – воды. В летний период максимальное самоочищение воды и ДО – от Ni, Fe, от Cu, Zn и Cr только в ДО; в осенний период высокая степень самоочищения воды наблюдается – от Fe и Cu, донных отложений – от Zn.

По результатам исследования СС притоков р. Свияга установлено, что р. Гуща имеет более высокие значения степени самоочищения воды и ДО; р. Сельдь – самые низкие. Из исследуемого ряда притоков, р. Сельдь испытывает наибольшее влияние антропогенных источников, так как впадает в р. Свияга на урбанизированной территории г. Ульяновска.

Для притоков р. Свияга установлена определенная специфика самоочищения компонентов (вода, ДО) по исследуемому ряду ТМ. Во всех притоках максимальная степень самоочищения воды наблюдается от Fe: р. Гуща – 58,1%; р. Сельдь – 54,4%; р. Бирюч – 40,9%.

Сорбционные процессы занимают важное место в самоочищении водных экосистем, перераспределении ТМ в водных объектах. Миграционную способность ТМ из донных отложений в воду можно объяснить посредством коэффициента распределения [4]:

$$I g K_{распр.} = \frac{[M]_{до}}{[M]_{вода}}$$

$I g K_{распр.}$  – коэффициент распределения;  $[M]_{до}$  – содержание металла в донных отложениях, мг/кг;  $[M]_{вода}$  – содержание металла в воде, мг/л.

Интерпретация  $I g K_{распр.}$  сводится к тому, что чем меньше значение коэффициента распределения, тем интенсивнее миграция металла из донных отложений в воду.

Использование коэффициента распределения в сезонной динамике для каждого металла, позволяет определить периоды максимального их содержания в воде с предположением о влиянии исследуемых факторов на поступление ТМ из донных отложений в воду, как следствие этого, на степень самоочищения воды от ТМ (рис. 2).

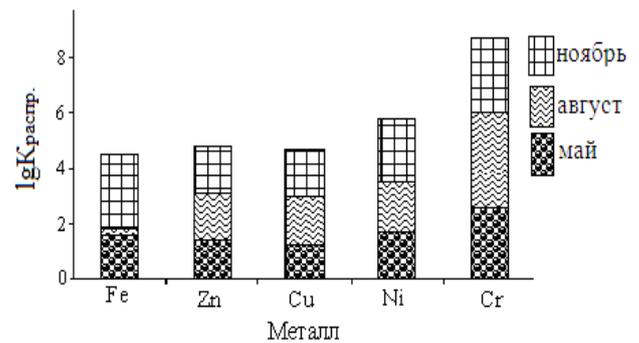


Рис. 2. Коэффициент распределения ТМ между донными отложениями и водой р. Свияга

При исследовании степени самоочищения р. Свияга в сезонной динамике установлено, что максимальное самоочищение донных отложений по Fe (69,2%) и Ni (22,1%) (август), Cr (47,5%) (май) наблюдается в периоды максимальной миграционной способности этих металлов из донных отложений в воду (рис. 2).

В зависимости от значения  $I g K$ , влияния факторов (рН, температуры, карбонатной жесткости) на характер распределения (миграции) ТМ между компонентами (водой, донными отложениями) можно выделить следующие группы металлов: первая группа (Fe, Ni); вторая группа (Cu, Zn). Процессы распределения Cr носят специфичный характер.

Максимальная миграция Fe ( $I g K_{распр.}=0,254$ ) и Ni ( $I g K_{распр.}=1,74$ ) из донных отложений в воду наблюдается в летний (рис. 2) период. Установленные положительные регрессионные коэффициенты (Бета) между температурой и содержанием Fe (Бета= $0,579$ ;  $p=0,035$ ) и Ni (Бета= $0,536$ ;  $p=0,005$ ), указывают о возможности влияния температуры на протекание процессов десорбции ТМ из донных отложений в воду.

Для второй группы металлов (Cu, Zn) установлены отрицательные значения Бета между рН и содержанием в воде Cu (Бета= $-0,625$ ;  $p<0,001$ ) и Zn (Бета= $-0,488$ ;  $p=0,016$ ), объясняющие процессы сорбции этих ТМ из воды в донные отложения, и возможным последующим физическим массопереносом их по течению реки.

Высокая СС воды от Cr (43,5%) в летний период, не установленное самоочищение ДО в осенний

период, возможно, объясняется влиянием температурного фактора  $\beta = -0,856$  ( $p < 0,001$ ;  $R^2 = 73,9\%$ ), которое может говорить о протекании возможных окислительно-восстановительных реакций с участием Cr в водной экосистеме и процессах морозного выветривания металла из геологической породы [5].

Влияние pH воды для всего ряда металлов (исключение составляет Cr) носит однонаправленный характер, где наблюдаются отрицательные значения  $\beta$ . С увеличением pH в осенний период можно говорить о сорбционных процессах ТМ из воды в донные отложения.

Влияние карбонатной жесткости на миграцию ТМ между водой и донными отложениями можно объяснить с помощью констант устойчивости ( $\lg K_{уст.}$ ) гидрокарбонатных и карбонатных комплексов [6]. Ряд возрастания  $\lg K_{уст.}$  для гидрокарбонатных комплексов можно представить:  $Zn < Cu < Ni < Fe$ ; комплексов с фульвокислотами  $Zn < Fe < Ni < Cu$ ; гидроксокомплексов  $Ni < Zn < Cu < Cr < Fe$ . Для всех исследуемых ТМ характерна низкая устойчивость гидрокарбонатных комплексов в сравнении комплексов с фульвокислотами и гидроксокомплексами.

Увеличение карбонатной жесткости и pH в весенне-осенний период приводит к образованию гидрокарбонатов металлов. Неустойчивые гидрокарбонатные комплексы металлов гидролизуются и образуют гидроксиды, которые в виде малорастворимых комплексных соединений могут сорбироваться в донные отложения. Это объясняет возрастание миграционной способности железа, меди, никеля из воды в донные отложения в осенний период [7].

Таким образом, установлено, что под воздействием физико-химических факторов в сезонной динамике изменяется СС водных объектов, и как следствие этого изменяется качество воды.

Для оценки качества воды в исследуемых водоемах использовали индекс загрязненности воды (ИЗВ):

$$ИЗВ = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ПДК}$$

где  $n$  – число использованных показателей,  $C_i$  – фактическое содержание загрязняющего вещества,  $ПДК_i$  – предельно допустимая концентрация вещества.  $ПДК_{в}$  ТМ: Fe – 0,3 мг/л; Zn – 1,0 мг/л; Cu – 1,0 мг/л; Cr – 0,005 мг/л; Ni – 0,1 мг/л [8].

Интерпретация ИЗВ проведена по содержанию ТМ (Fe, Zn, Cu, Ni, Cr) в воде р. Свияга. Установлено, что в р. Свияга в весенний период наблюдается пятый класс качества воды (ИЗВ=5,67), классификация загрязненности воды – грязная; летний период – седьмой класс качества (ИЗВ=10,65), вода чрезвычайно грязная; осенний период – четвертый класс качества (ИЗВ=3,45), вода загрязненная (рис. 3).

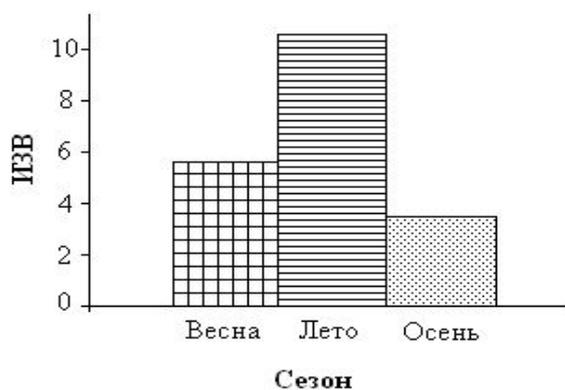


Рис. 3. Изменение индекса загрязнения воды р. Свияга в сезонной динамике содержания ТМ

Таким образом, высокая СС воды р. Свияга наблюдается в осенний период. Низкое значение ИЗВ говорит, что этот период является наиболее благоприятным для протекания процессов самоочищения воды от ТМ при комплексном влиянии исследуемых в данной работе физико-химических факторов.

Нами исследована миграционная способность тяжелых металлов из донных отложений в воду с помощью критериального показателя – коэффициента распределения ( $\lg K_{распр.}$ ). Использование коэффициента распределения в сезонной динамике для каждого металла, позволяет определить периоды максимального их содержания в воде с возможным предположением о влиянии исследуемых факторов на поступление тяжелых металлов из донных отложений в воду, как следствие этого, на степень самоочищения воды.

Установлено влияние исследуемых физико-химических факторов (pH, карбонатная жесткость и температура) на самоочищение водных объектов. Карбонатная жесткость и pH оказывают влияние на процессы десорбции железа и никеля из донных отложений в воду в летний период. Увеличение pH воды в осенний период способствует сорбционным процессам всех исследуемых ТМ (исключение составляет хром) из воды в донные отложения. Специфика распределения хрома между водой и донными отложениями определяется температурным фактором.

Установлен индекс загрязнения воды р. Свияга в сезонной динамике содержания тяжелых металлов. Максимальное значение ИЗВ (10,65) наблюдается в летний период. Минимальное значение ИЗВ (3,45) установлено для осеннего периода, что говорит о наиболее благоприятном протекании процессов самоочищения воды от ТМ при комплексном влиянии исследуемых физико-химических факторов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скурлатов Ю.И., Дука Г.Г., Мизити А.М. Введение в экологическую химию. М.: Высшая школа, 1994. 400 с.

2. *Никаноров А.М.* Гидрохимия. СПб.: Гидрометеоздат, 2001. 444 с.
3. Экологические проблемы малых рек Республики Татарстан (на примере Меши, Казанки и Свяги) / под ред. В.А. Яковлева. Казань: ФЭН, 2003. 289 с.
4. *Корнеева Т.В.* Геохимия взаимодействия рудничного дренажа с природными водоемами как естественными гидрохимическими барьерами: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Новосибирск, 2010. 16 с.
5. *Ваганова Е.С., Ваганов А.С., Кузнецов П.Н. и др.* Экологическое состояние водных объектов Ульяновской области // Современные наукоемкие технологии. 2010. № 7. С. 78-79.
6. *Линник П.Н., Набиванец Б.И.* Формы миграции металлов в природных водах. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 271 с.
7. *Ваганова Е.С., Ваганов А.С., Давыдова О.А.* Мониторинг влияния жесткости воды на распределение тяжелых металлов в водных экосистемах // Экологические проблемы промышленных городов: Тезисы докл. Всерос. научно-практ. конф. Саратов: Изд. СГТУ, 2011. С. 34-36.
8. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справочные материалы / под ред. Т.В. Гусевой. М., 2007. 192 с.

## ESTIMATION OF SELF-CLEANING OF WATER ECOSYSTEMS FROM HEAVY METALS (ON THE EXAMPLE OF THE SMALL RIVERS OF THE ULYANOVSK REGION)

© 2011 E.S.Vaganova, O.A.Davidova

Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk

The estimation of self-cleaning of the small rivers of the Ulyanovsk region (the river of Svijaga and its inflows of the river Grounds, the river the Herring, the river of Birjuch) from heavy metals (Fe, Zn, Cu, Ni, Cr) on set of influence of physical and chemical factors is spent. The index of pollution of water of the river of Svijaga in seasonal dynamics of the maintenance of heavy metals is established.

**Key words:** *self-cleaning of water ecosystems, heavy metals, influence of physical and chemical factors.*