

---

ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

---

УДК 574.5:628.394.6(470.621)

**ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ РЕЧНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ  
РЕСПУБЛИКИ АДЫГЕЯ И КРИТЕРИИ  
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ**

© 2008 г. И.П. Тах

*Майкопский Государственный Технологический Университет, Майкоп 385000*

Поступила в редакцию 22.06.2007 г.

При оценке состояния экосистемы важно учитывать загрязненность водного объекта токсическими веществами. Наибольшую опасность среди них представляют тяжелые металлы. Известно, что в определенных концентрациях они не только влияют на качество пресных вод, но и становятся токсичными для гидробионтов и аккумулируются в их тканях. По трофическим цепям металлы могут попадать в организм человека. Один из наиболее объективных и надежных показателей загрязнения речной экосистемы и общей антропогенной нагрузки на него – содержание тяжелых металлов в донных отложениях. Предложенный метод оценки уровня загрязненности речных экосистем тяжелыми металлами по донным отложениям предлагается для совершенствования экологического мониторинга. Нормирование содержания тяжелых металлов, во многом определит пригодность водных объектов для хозяйственно-питьевого и рыбохозяйственного использования.

Река Белая (Северо-Западного Кавказа) – второй по длине и самый мощный по водности левобережный приток р. Кубань, впадающий в Краснодарское водохранилище. Водосборный бассейн занимает площадь 5 990 км<sup>2</sup>, длина водотока реки – 277 км. Река берет начало у вершин Главного Кавказского хребта на высоте 2 197 м над уровнем моря. Бассейн реки вытянут в меридианальном направлении, и имеет асимметричное строение речной системы, принимая в среднем и нижнем течении в основном левобережные притоки и лишь в верховье – правобережные. В орографическом отношении бассейн р. Белая представляет сложный район: верхняя часть – это горные, предгорные территории, средняя и нижняя – наклонные предгорные равнины и плато.

Гидрографическая сеть по территории Республики Адыгея распределяется весьма неравномерно. Наибольших величин коэффициент густоты речной сети достигает в горных районах северного склона Большого Кавказа, особенно в западной его части. Здесь в верховьях реки Белая коэффициент густоты речной сети (по крупномасштабной карте) достигает 1,5 км/км<sup>2</sup>, составляя в среднем по зоне 0,7-0,9 км/км<sup>2</sup>. Коэффициент густоты речной сети в предгорной зоне составляет 0,6-0,7 км/км<sup>2</sup> и уменьшается до 0,2-0,3 км/км<sup>2</sup>.

В бассейне р. Белая обитает 32 вида рыб, принадлежащих к восьми семействам. Ихтиофауна р. Белая изменяется по мере спуска к устью, где река постепенно принимает равнинный характер. В самых верхних участках реки и ее притоков обитает только форель. В районе ст. Даховская и с. Хамышки

преобладает 5 видов (реофильных): форель, голавль, усач, пескарь и быстринка. В нижнем течении реки видовой состав рыб богаче, при этом к устью он меняется соответственно гидрологическому режиму реки. Обогащение видового состава идет, главным образом, за счет лимнофильных рыб: окуня, щуки, карася, овсянки, красноперки. При этом большие изменения наблюдаются в нижних участках, где в значительных количествах встречается лещ, густера, плотва, подуст, судак, сазан, красноперка, уклея и сом.

Возрастающая производственно-хозяйственная деятельность человека приводит к неизбежному увеличению концентраций тяжелых металлов в природных водах. Республика Адыгея традиционно считается одним из экологически благополучных районов, но и здесь нерешенными остаются многие проблемы загрязнения водной среды.

Создание эколого-информационных систем управления качеством окружающей природной среды на региональном и локальных уровнях для общей оценки фактического состояния, экологически допустимой нагрузки территории и прогнозирования ее изменения в будущем, является актуальным. Отечественное законодательство уже сделало первые шаги по правовому обеспечению решения этой задачи. Законом «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 г. установлено нормирование допустимого воздействия на окружающую среду.

Начало целенаправленной широкомасштабной деятельности по стандартизации и нормированию неблагоприятных воздействий было датировано в первой половине 70-х годов, когда началось формирование структур управления природопользования в развитых странах мира, первоочередными объектами являлись водоемы (Воробейчик и др., 1994).

Вообще, система экологического нормирования в западных странах призвана осуществлять три основные функции: первая – исключение заведомо неприемлемого ущерба, вторая – состоит в регулировании антропогенной нагрузки, третья – стимулирование постоянного снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду.

На различных водных объектах России используется система экологического нормирования, основанная на биотической концепции, где биотическими индикаторами экологического состояния выступали индексы сапробности по фито-, зоопланктону, перифитону, биотические и олигохетные индексы по зообентосу.

Экологическая оценка качества воды в водном объекте включает в себя характеристику состава и свойств воды как среды обитания флоры и фауны с точки зрения наличия биогенных и органических веществ, активной реакции, прозрачности, процессов самозагрязнения и биологического самоочищения, а также допустимого уровня антропогенного воздействия (Цветкова и др., 1999).

При экологической оценке производственных и коммунальных объектов – загрязнителей природной среды необходимо как минимум принимать во внимание адаптивные возможности местных популяций обитателей водоема. Нормативы,

направленные на сохранение популяций, должны учитывать как мгновенную концентрацию загрязняющих веществ, так и ее динамику.

Разные биогеоценозы разрушаются при различных видах и интенсивностях антропогенного воздействия. Поэтому универсальные нормативы здесь бессмысленны. Они должны быть ориентированы на конкретный тип водных биоценозов, а в некоторых случаях и на индивидуальные экосистемы, т.е. флору и фауну отдельных водоемов и даже их участков. Исходя из специфики конкретного водоема должен быть сформирован основной природоохранный приоритет, в соответствии с которым надлежит вести всю работу по охране вод: охрану популяции какого-либо ценного вида, поддержание рыбопродуктивности, сохранение экосистемы в целом (Попченко, 1991).

Необходимо отметить, что используемые в настоящее время методы оценки качества воды с помощью системы ПДК загрязняющих веществ не дают полного представления о состоянии природных вод и не являются достаточной гарантией их охраны от загрязнения.

При оценке уровня загрязненности реки используются среднегодовые концентрации содержания загрязняющих веществ в водном потоке. Для получения объективных среднегодовых значений требуется отбор и анализ большого количества проб, собранных в разные гидрологические периоды года. Донные отложения – наиболее консервативный компонент речной экосистемы, отражающий уровень содержания тяжелых металлов в водной толще реки, поэтому они могут выступать объективным источником информации о степени загрязнения водного объекта в целом.

На протяжении всего участка исследований донные отложения р. Белая характеризуются слабоокислительными и окислительными свойствами. Наиболее низкие величины окислительно-восстановительного потенциала (от +46 до +346 мВ) с повышенными значениями pH (7,8-9,0).

Среди определяемых металлов в р. Белая превышение предельно-допустимых концентраций для питьевого и культурно-бытового водопользования (ПДКв) наблюдалось в весенний период только по железу, а в осенний период по железу и по марганцу. Превышение предельно-допустимых концентраций для рыбохозяйственного водопользования (ПДКр) отмечалось для меди, цинка, железа и марганца повсеместно не зависимо от сезонных колебаний.

Сравнивались выборки по донным отложениям по отношению к фоновой зоне (Кавказскому биосферному заповеднику) с разделением на две гранулометрические фракции (1,0-0,25 мм и <0,25 мм). По трем створам из семи наблюдаются достоверные изменения по содержанию Fe ( $t = 2,29-2,52$ ) в мелкой фракции и ( $t = 2,10-2,28$ ) – крупной от ст. Ханская до аула Адамий. По содержанию Pb в пяти из семи створов отмечается высокая достоверность различий между мелкой и крупной фракцией ( $t = 4,71-10,18$  и  $t = 3,81-12,13$  соответственно) от пос. Министочник до аула Адамий. Высоко достоверные различия выявлены по содержанию Zn в пос. Министочник ( $t = 4,56$  и  $t = 6,27$



соответственно), пос. Краснооктябрьский – в мелкой фракции ( $t = 12,05$ ) и крупной ( $t = 13,30$ ) и аул Бжедугхабль ( $t = 4,36$  – в мелкой). По содержанию Cu от ст. Даховская до аул Адамий ( $t = 3,15$ – $14,51$  и  $t = 2,85$ – $16,08$  соответственно) высоко достоверные.

Одним из наиболее важных факторов, влияющих на адсорбционную способность ионов тяжелых металлов, являются размеры частиц. Определяющее значение имеет удельная площадь поверхности частиц (Потемкин, 1967). Статистический анализ связей концентраций металлов с размерами частиц донных отложений р. Белая показал, что коэффициенты корреляции имеют положительные значения для частиц  $0,25$ – $1,0$ ,  $<0,25$  мм. Хорошо адсорбируются Fe ( $r = 0,99$ ), Pb ( $r = 0,97$ ), Cu ( $r = 0,69$ ), Zn ( $r = 0,93$ ), Mn ( $r = 0,45$ ). Это означает, что частицы ила – главный сорбирующий и коагулирующий материал для приведенных выше тяжелых металлов.

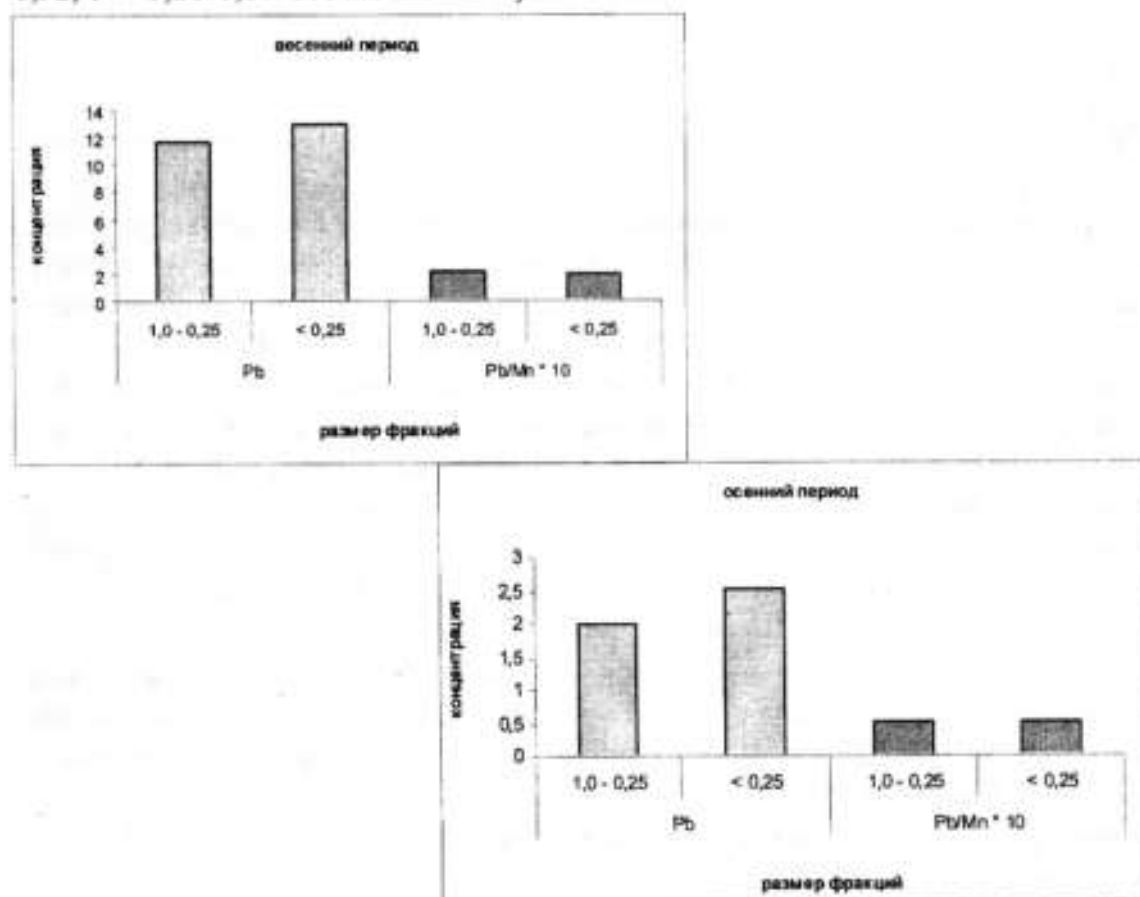
В литературе неоднократно отмечалась существенная роль в геохимических циклах Fe и Mn. Процессы круговорота ряда элементов между водой и донными отложениями связаны с оксидами и гидроксидами Fe и Mn – хорошими адсорбентами элементов из водных растворов вследствие высоких отрицательных значений заряда, большой удельной поверхности частиц и высокой емкости катионного обмена (Мизандронцев, 1990). По полученным результатам можно отметить, что природные сорбенты: марганец хорошо адсорбируют медь ( $r = 0,92$ ), цинк ( $r = 0,45$ ) и железо ( $r = 0,44$ ) в крупной гранулометрической фракции ( $1,0$ – $0,25$  мм). Железо адсорбирует металлы в мелкой фракции ( $<0,25$  мм) – для  $r = 0,79$  (Cu),  $r = 0,50$  (Zn) и  $r = 0,65$  (Mn), что свидетельствует об идентичности процессов трансформации тяжелых металлов в донных отложениях и участие цинка и меди в редокс-цикле железа и марганца.

Из многочисленных опубликованных данных следует, что минералогический состав и гранулометрические характеристики донных отложений контролируют изменение в них тяжелых металлов. Влияние указанных факторов можно устранить нормированием концентраций тяжелых металлов по концентрациям индикаторного элемента. В таком случае предполагается, что существует линейная связь между элементами, т.е. концентрация индикаторного элемента изменяется в зависимости от минералогического состава и гранулометрических характеристик донных отложений, и при этом пропорционально изменяется концентрация нормируемого элемента. Следовательно, нормализующий элемент должен быть важной составной частью одного (или более) носителя тяжелых металлов и отражать гранулометрическую изменчивость донных отложений.

Используются различные варианты нормирования содержания тяжелых металлов в донных отложениях: расчет коэффициента концентрирования кремния (Hirst, 1962); по содержанию мелких фракций ( $<20$  мкм) в составе донных отложений (Groot, 1982); по содержанию карбонатов, органического углерода и  $Al_2O_3$  (Horowitz, 1985); расчет коэффициента концентрирования относительно лития (Loring, 1990); относительно железа (Перельман, 1989).

Степень влияния гидроксида железа и оксида марганца на сорбцию металлов проявляется значительно больше, чем следовало бы ожидать исходя из их весового вклада в составе частиц донных отложений – это связано, со способностью данных природных сорбентов покрывать тонким слоем, поверхность других частиц твердого осадка, что значительно увеличивает их удельную рабочую сорбционную площадь. На основании этого можно предположить, что в качестве индикаторного элемента при сравнении содержания тяжелых металлов в донных отложениях рек, можно использовать концентрацию железа и марганца, которые выступают в качестве «сорбционной ловушки» для других металлов, являющимися хорошими природными сорбентами.

Установлено, что во всех точках отбора наблюдалась корреляционная зависимость между содержанием железа и изучаемыми металлами (Zn, Cu, Pb) в весенний и осенний период ( $r = 0,32-0,80$ ,  $r = 0,56-0,96$  соответственно) и между содержанием марганца и остальными тяжелыми металлами ( $r = 0,25-0,92$ ,  $r = 0,26-0,87$  соответственно).



**Рис. 1.** Сезонное сравнение концентрации свинца в донных отложениях с их нормированием по марганцу.

**Fig. 1.** Seasonal comparison of concentration of lead in ground adjournment with their normalization on manganese.

При сравнении полученных данных (рис. 1) видно, что нормирование по марганцу и железу нивелирует разницу между содержанием тяжелых металлов в

различных фракциях донных отложений в пределах одного створа, но только при аэробных (окислительных) условиях ( $E_h > +200$  мВ относительно хлорсеребряного электрода сравнения) (рис. 2).

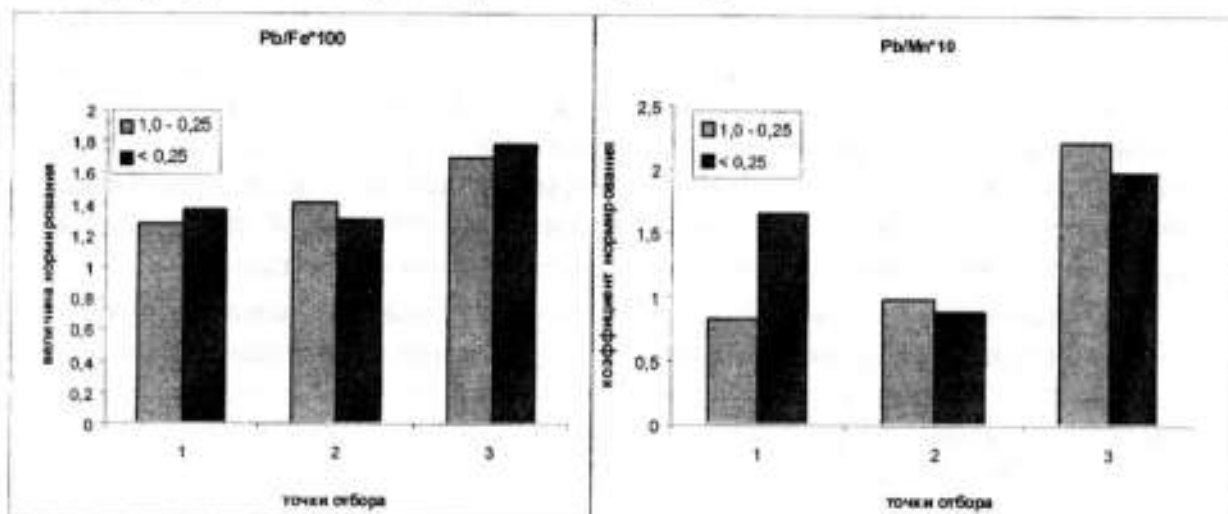


Рис. 2. Нормированные значения Pb в створах 1-3 р. Белая (створ 1, 2 – аэробные условия, створ 3 – анаэробные условия).

Fig. 2. The normalized values Pb in a transit 1-3 r. White (a transit 1, 2 – aerobic conditions, a transit 3 – an anoxic conditions).

В результате использования кластерного анализа нормированных удельных концентраций тяжелых металлов в донных отложениях по индикаторному элементу (железу и марганцу) была проведена сравнительная оценка уровня загрязненности тяжелыми металлами р. Белая и выявлены наиболее загрязненные участки. Сопоставление нормированных величин тяжелых металлов в донных отложениях р. Белая по марганцу в различные сезонные периоды отмечено, что в весенний период наиболее антропогенное воздействие испытывают участки реки выше г. Майкопа (пос. Министочник) по Pb и Zn; участки реки ниже г. Майкопа (ст. Ханская) и устье реки (аул Адамий) по Fe. В осенний период антропогенное воздействие испытывает р. Белая на участках в пос. Министочник – по Pb; ниже г. Майкопа (ст. Ханская) – по Cu; р. Белая ниже устья р. Пшеха (аул Бжедугхабль) – по Fe.

Нормирование величин тяжелых металлов по расчету концентрирования железа (индикаторный элемент) характеризуется высоким содержанием тяжелых металлов, что связано с антропогенным загрязнением донных отложений, участков р. Белая (пос. Министочник) по Pb и Zn в весенний период, а в осенний период (пос. Министочник и пос. Краснооктябрьский) по Pb и ниже г. Майкопа (ст. Ханская) по Cu.

При оценке уровня загрязненности донных отложений рек подтверждается тем фактом, что нормирование концентраций металлов по концентрации индикаторного элемента (как по марганцу, так и по железу), позволяет оценить экологическую нагрузку на речную экосистему, сопоставить уровень загрязненности в различные периоды времени, а также оценить накопление тяжелых металлов в донных отложениях р. Белая.

*Предложенный нами метод позволяет:*

- оценить экологическую нагрузку тяжелых металлов, как на отдельные участки, так и на речную экосистему в целом;
- оценить экологическую нагрузку на речные экосистемы в отдаленных районах, где организация створов экологического мониторинга не возможна.

Разработанный метод по оценке загрязненности речных экосистем тяжелых металлов предлагается внедрить в систему государственного экологического и санитарно-гигиенического мониторинга рек. Использование метода государственными контролирующими службами позволит сократить их расходы на организацию створов постоянного наблюдения, объем химико-аналитических работ при оценке существующего уровня нагрузки тяжелых металлов на речные экосистемы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г.* Экологическое нормирование техногенных загрязнений. Екатеринбург: Наука, 1994. 280 с.

ГОСТ 17.1.5.01.80. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность.

Дополнительный перечень предельно допустимых концентраций и ориентировочно безопасных уровней воздействия вредных веществ в воде рыбохозяйственных водоемов к «Обобщенному перечню ПДК и ОБУВ вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов» (№ 12-04-11 от 09.08.90 г.). М., 1990. 12 с.

*Мизандронцев И.Б.* Химические процессы в донных отложениях водоемов. Новосибирск: Наука, 1990. 176 с.

*Попченко В.И.* Экологические модификации и критерии экологического нормирования. Л.: Гидрометеониздат, 1991. С. 144.

*Потемкин В.Н.* Гранулометрический анализ морских донных отложений. М.: Наука, 1967. 128 с.

*Перельман А.И.* Геохимия. М.: Высшая школа, 1989. С. 286-287.

Санитарные нормы предельно допустимых содержаний вредных веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения. СанПиН 42.121.4130-86.

*Цветкова Л.И., Алексеев М.И.* Экология. Учеб. для техн. ВУЗов. М.: Изд-во АСВ; СПб: Химиздат, 1999. С. 488.

*Groot A., Zshuppe A., Salomons W.* Hydrobiology. 1982. V. 92. Pp. 689-695.

*Hirst D.M.* Geochim. Cosmochim. Acta. 1962. V. 26. P. 1147.

*Horowitz A.J.* A primer on trace metal-sediment Chemist. Alexandria, 1985. 67 p. (U.S. Geological Survey water-supply paper 2277).

*Loring D.H.* Marine Chemical. 1990. V. 29. P. 155.

**ECOLOGICAL CONDITION OF RIVER REPUBLIC ADYGEA  
EKOSISTEMY AND CRITERIA OF ECOLOGICAL NORMALIZATION**

© 2008 y. I.P. Tah

*Maykopskiy State Technological University, Maykop*

At an estimation of a condition of an ecosystem it is important to take into account impurity of water object toxic substances. The greatest hazard among them is represented with heavy metals. It is known, that in specific concentration they not only influence quality of fresh water, but also become toxic for aquatic organisms and are accumulated in their fabrics. On tropic circuits metals can get in an organism of the person. One of the most objective and reliable pollution indexes of a river ecosystem and the common anthropogenic load on it - the contents of heavy metals in ground sedimentation. The suggested method of an estimation of a level of impurity river ecosystem on ground adjournment is offered by heavy metals for perfection of ecological monitoring Normalization of the contents of heavy metals, in many respects will determine fitness of water objects for economic - drinking and fish economy uses.