АНАЛИЗ ЗАРУБЕЖНЫХ МЕТОДИК ОЦЕНКИ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ РЕК

Коновалова Э.Е.

Российский университет дружбы народов (115093, Москва, Подольское ш., 8), e-mail: m.soho@mail.ru

Индекс УДК: 57.044

Аннотация: В настоящее время в нашей стране не принята единая методика оценки содержания химических веществ в донных отложениях. В последние десятилетия антропогенная нагрузка на реки существенно возросла. Содержащиеся в воде тяжелые металлы накапливаются в донных отложениях. В результате донные отложения могут становиться источником вторичного загрязнения воды. Поэтому разработка соответствующей методики для оценки их качества является важной и актуальной задачей. В данной статье рассмотрены две методики оценки донных отложений рек на содержания тяжелых металлов в них, разработанные в Германии и США. Это метод индекса геоаккумуляции, созданный в Германии, и способ оценки загрязненности донных отложений по сравнительной шкале, принятый в США. При расчете индекса геоаккумуляции предлагается сравнивать содержание тяжелых металлов в отобранных пробах донных отложений с их фоновым содержанием. При оценке с помощью сравнительной шкалы используются нормативы, утвержденные агентством по охране окружающей среды США. В итоге сформулированы достоинства и недостатки рассмотренных методов. В результате проведенного исследования можно рекомендовать количественный метод Мюллера индекса геоаккумуляции к применению на территории России.

Ключевые слова: загрязняющие вещества, тяжелые металлы, донные отложения, индекс геоаккумуляции, водный объект.

Abstract: There is no single approach to methods for estimating the content of heavy metals in bottom sediments. In recent decades, the anthropogenic load on the rivers has increased significantly. The heavy metals contained in the water accumulate in the bottom sediments. As a result, bottom sediments can become a source of secondary water pollution. Therefore, the development of an appropriate methodology for assessing their quality is an important and urgent task. The article considers existing two foreign methods for estimating the content of heavy metals in river bottom sediments developed in Germany and the USA. First is the method of the geoaccumulation index created in Germany. Second is method for estimating the contamination of bottom sediments by a comparative scale, adopted in the United States of America. When calculating the geoaccumulation index, it is proposed to compare the content of heavy metals in selected samples of bottom sediments with their background content. When evaluating using a comparative scale, the standards approved by the US Environmental Protection Agency are used. As a result, the advantages and disadvantages of the methods are formulated. In conclusion of the study, we can recommend the quantitative method of the Muller index of geoaccumulation for use on the territory of Russia.

Key words: pollutants, heavy metals, bottom sediments, geoaccumulation index, water body.

Актуальность работы обусловлена тем, что донные отложения водных объектов способны активно аккумулировать загрязняющие вещества, в том числе тяжелые металлы, в связи с чем, они являются первичным фактором загрязнения всей водной экосистемы.

Вторичное загрязнение возможно в связи с последующими процессами перераспределения тяжелых металлов в структуре донных отложений и, как следствие, нарушением равновесия системы «вода - донные отложения». В результате чего равновесное существование бентосного сообщества будет нарушено, за счет которого и происходят процессы самоочищения водного объекта.

Введение

Для донных отложений водных объектов характерна способность накапливать химические элементы, которые попадают в воду в результате антропогенного воздействия. Используя определенные методы оценки, можно получить обобщенные данные по экологическому состоянию всей территории водосбора водного объекта, а также видах производств, расположенных на ее территории. Содержание тяжёлых металлов в воде значительно ниже, чем их концентрации в донных отложениях. В донных отложениях высокие значения концентраций тяжёлых металлов негативно сказываются на биоте рек, которые в процессе своей жизнедеятельности активно аккумулируют из среды своего обитания токсичные химические соединения, что представляет опасность для качества вод, а, соответственно, и для человека [7].

В России на данный момент не существует единой методики по оценке в донных отложениях содержания тяжёлых металлов. Практическая значимость исследования заключается в том, чтобы, изучив зарубежные критерии оценки качества донных отложений [2-5], разработанные для собственных условий существования водных объектов, рекомендовать к применению на территории России методику, которая позволит быстро и достоверно получать информацию о состоянии водных и биологических ресурсов.

Метод индекса геоаккумуляции.

Количественный метод Г. Мюллера разработан в Германии[8-10]. Данная оценка загрязнения тяжелыми металлами донных отложений водных объектов по Мюллеру основывается на разработанной международной ассоциацией исследователей IAWR классификации загрязнения воды.

По формуле 1 вычисляют индекс геоаккумуляции I_{geo}. При расчете учитывают концентрации тяжелых металлов в донных отложениях тонкозернистых фракций (< 20 мкм) (С) и геохимические фоновые значения ($C_ф$) в иловых или глинистых отложениях

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C}{1{,}5C_ф} \qquad (1)$$

где С – концентрация химического элемента в составе донных отложений, полученная в результате измерений, или валовая;

$C_ф$ – геохимическое фоновое значение концентрации химического элемента, который определяют в результате специальных исследований, учитывая особенностей рассеивания элемента n в данном регионе;

1.5 – коэффициент, учитывающий различные варианты природных концентраций химического элемента.

Выделяют 7 ступеней загрязнения (таблица 1).

Таблица 1

Индекс геоаккумуляции I_{geo} тяжелыми металлами в донных отложениях и индекс качества воды по данным IAWR[1]

Значение индекса геоаккумуляции I_{geo}	Класс геоаккумуляции	Уровень загрязненности донных отложений
> 0	0	Практически незагрязненный
> 0-1	1	Незагрязненный до умеренно загрязненного
> 1-2	2	Умеренно загрязненный
> 2-3	3	Средне загрязненный
> 3-4	4	Сильно загрязненный
> 4-5	5	Сильно загрязненный до чрезмерно загрязненного
> 5	6	Чрезмерно загрязненный

Для оценки концентраций основных металлов используют данные по значениям по I_{geo} классам (таблица 2)

Таблица 2

Соответствие I_{geo} классам концентраций распространенных металлов, мг/кг [1]

Элемент, %	I_{geo} классы						
	0	1	2	3	4	5	6
Fe	7,1	14,2	28,3	56,6	> 56,6		
Mn	1275	2550	5100	10200	20400	40800	> 40800
Cd	0,5	0,9	1,8	3,6	7,2	14,4	> 14,4
Zn	142,5	285	570	1140	2280	4560	> 4560
Pb	30	60	120	240	480	960	> 960
Cu	67,5	135	270	540	1080	2160	> 2160
Ni	102	204	408	816	1632	3246	> 3246
Cr	135	270	540	1080	2160	4320	> 4320
Hg	0,6	1,2	2,4	4,8	9,6	19,2	> 19,2

При использовании данной методики можно с помощью I_{geo} класса определить классификационные показатели экологического состояния донных отложений и оценить в донных отложениях содержание тяжелых металлов, по полученным значениям выявить участки с максимальными концентрациями загрязняющих веществ.

Таким образом, классификация Мюллера позволяет оценить уровень антропогенной нагрузки на водные экосистемы, обнаружить участки рек с повышенным содержанием тяжелых металлов, составить прогноз дальнейшего развития экологической ситуации на изучаемой территории, оценить миграции загрязняющих веществ, а также определить эффективные мероприятия по защите природных объектов.

Недостатки данного метода заключаются в том, что нельзя дать комплексную оценку уровня загрязнения водного объекта, так как оценки уровня загрязненности осуществляют отдельно по каждому элементу.

Оценка загрязненности донных отложений по сравнительной шкале (США).

В США USEPA[1] разработан собственный метод оценки донных отложений по содержанию тяжелых металлов в них [7].

Путем сравнения фактического присутствия в донных отложениях тяжелых металлов с нормативами USEPA (табл.3) можно быстро определить качество исследуемого водного объекта.

Таблица 3

Уровень загрязнения донных отложений согласно нормативам USEPA [7]

Уровень загрязнения	Содержание тяжелых металлов, мг/кг					
	Hg	Cr	Cd	Cu	Pb	Zn
Незагрязненные	< 1	< 25	-	< 25	< 40	< 90
Умеренно загрязненные	-	25-75	-	25-50	40-60	90-200
Сильно загрязненные	> 1	> 75	> 6	> 50	> 60	> 200

Достоинством данного метода является оперативный результат установления уровня загрязнения в исследуемом водном объекте донных отложений. К недостаткам можно отнести тот факт, что нельзя получить интегральную оценку экологического состояния донных отложений исследуемого водоема, если физико-географические условия местности значительно отличаются от условий Северной Америки, то и геохимический фон не будет соответствовать нормативам USEPA.

[1] Агентство по охране окружающей среды (U.S. Environment Protection Agency)

Кроме того, USEPA был предложен следующий метод оценки качества донных отложений[6].

На основе статистической обработки данных были установлены предельные значения содержания тяжелых металлов в исследуемых донных отложениях: допустимый минимум или пороговое значение (TEC) и допустимый максимум (PEC). В таблицах 4,5 приведены согласованные значения TEC и PEC, рекомендованные к сравнительному анализу концентраций тяжелых металлов в донных отложениях исследуемого водного объекта.

Таблица 4

Концентрации тяжелых металлов в пресноводных системах по уровням загрязнения на основе TEC [6]

Тяжелый металл	Минимально допустимое содержание (TEC)					
	Возможный уровень воздействия	Минимальный уровень влияния	Порог минимального влияния	Уровень минимального влияния	Пороговый уровень влияния для амфиподы Hyalella Azteka	Согласованное TEC
	TEL	LEL	MET	ERL	TEL-HA28	
As	6	6	7	33	11	10
Cd	0,6	0,6	0,9	5	0,6	1
Cr	37,3	26	55	80	36	43,4
Cu	35,7	16	28	70	28	31,6
Pb	35	31	42	35	37	35,8
Hg	0,2	0,2	0,2	0,2	-	0,2
Ni	18	16	35	30	20	22,7
Zn	123	120	150	120	98	121

Таблица 5

Концентрации тяжелых металлов в пресноводных системах по уровням загрязнения на основе PEC [6]

Тяжелый металл	Максимально допустимое содержание (PEL)					
	Пороговый уровень	Уровень серьезного влияния	Предел токсического влияния	Средняя медиана влияния	Максимально допустимый уровень влияния для амфиподы Hyalella Azteka	Согласованное PEL
	PEL	SEL	TET	ERM	PEL-HA28	
As	17	33	17	85	48	33

Cd	3,5	10	3	9	3	5
Cr	90	110	100	145	120	111
Cu	197	110	86	390	100	149
Pb	91,3	250	170	110	82	128
Hg	0,5	2	1	1,3	-	1
Ni	36	75	61	50	33	48,6
Zn	315	820	540	270	540	459

Чтобы оценить загрязнение тяжелыми металлами как поликомпанентное, предлагается получить значения путем деления на РЕС, затем суммировать их и разделить на число использованных в расчете веществ[6].

Заключение

1. Донные отложения рек активно аккумулируют тяжелые металлы. В результате они могут как первичным, так и вторичным фактором загрязнения всей водной экосистемы, что связанно с процессами перераспределения загрязняющих веществ в донных отложениях. И как следствие, ухудшаются условия существования бентоса водной экосистемы, а, соответственно, и их равновесие.

2. В России в настоящее время не существуют единые стандарты в отношении качества донных отложений. В области экологического нормирования качества донных отложений существуют зарубежные методики.

3. Количественный метод Мюллера индекса геоаккумуляции, который вычисляется по формуле с учетом концентрации тяжелых металлов в донных отложениях и геохимических фоновых значений в иловых или глинистых отложениях. Данный метод путем по полученному значению индекса геоаккумуляции позволяет установить уровень загрязнения донных отложений исследуемого водного объекта. Недостатком является отсутствие комплексной оценки воздействия тяжелых металлов на водный объект.

3. В США разработаны нормативов USEPA. В результате сравнения с ними полученных данных о концентрации тяжелых металлов в исследуемых водных объектах, можно оперативно оценить уровень загрязнения донных отложений. К недостаткам данного метода можно отнести то, что оценка состояния донных отложений водоема в физико-географических условиях местности, значительно отличающейся от условий Северной Америки, будет не достоверна, так как геохимический фон территорий не идентичен.

4. В результате проведенного исследования можно рекомендовать количественный метод Мюллера индекса геоаккумуляции к применению на территории России. Метод нормативов USEPA (США) для условий РФ не подходит. Поэтому требуется разработка общероссийской системы нормативов, которые бы позволили быстро и достоверно получать

информацию о состоянии водных и биологических ресурсов.

Список использованной литературы

1. Даувальтер В.А. Геоэкология донных отложений озер /В.А. Даувальтер. – Мурманск, МГТУ, 2012. – 242 с.
2. Караушев А.В. Теория и методы расчета речных наносов. / А.В.Караушев. - Л.,Гидрометеоиздат, 1977. – 270 с.
3. Коломийцев Н.В., Щербаков А.О., Мюллер Г. Методика исследования загрязнения рек Московского региона тяжелыми металлами // Жизнь Земли. - 1997.- № 30.- С. 164-171.
4. Методика интегральной эколого-геохимической оценки донных отложений искусственно созданных водных объектов в условиях природного и техногенного воздействия. Дисс.канд.геогр.наук / Т.В.Соколова – Воронеж, ВГУ, 2015. – 154 с.
5. Методологические особенности оценки экологического состояния донных отложений искусственно созданных водных объектов. /И. И. Косинова, Т. В. Соколова.// Вестник ВГУ. Серия:Геология. – 2015. - №3 – С. 113-121.
6. Методология экспериментального и натурного изучения процессов аккумуляции и выноса тяжелых металлов в донных отложениях водохранилищ и озер. Отчет по 1 этапу / К.А. Болдырев // М., ЗАО «ДАР/ВОДГЕО», 2012. – 311 с.
7. Оценка степени загрязненности донных отложений водного объекта тяжелыми металлами на примере Аксаковского залива Пяловского водохранилища. / С.О.Новиков, О.Я. Маслова // III Ежегодная Всероссийская научно-практическая конференция «Исследования и разработки - 2016». – 2016.
8. Содержание и распределение химических элементов в донных отложениях рек Башкирского Зауралья. / Л.Г. Алибаева, А.Ю. Кулагин // Вестник Удмуртского университета, 2013. – Вып.1.- С.3-7.
9. Содержание тяжёлых металлов в донных отложениях реки Енисей в районе Красноярска. / Д.В.Дементьев, А.Я.Болсуновский и др. //Известия Томского политехнического университета.– 2015. – Т.326. -№5 – С.91-95
10. Таловская А.В. Оценка воздействия на компоненты природной среды: лабораторный практикум / А.В. Таловская, Л.В. Жорняк, Е.Г. Язиков. – Томск, ТПУ, 2014. – 88 с.