

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ИСКУССТВЕННО СОЗДАНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

И. И. Косинова, Т. В. Соколова

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 10 февраля 2015 г.

Аннотация: в статье рассматриваются существующие методологические подходы оценки экологического состояния донных отложений, приводятся основные недостатки каждого из подходов.

Ключевые слова: донные отложения, водоем, водохранилище, методологические особенности, кларк, фоновые концентрации, гранулометрический состав.

METHODOLOGICAL FEATURES ASSESSMENT OF ECOLOGICAL CONDITIONS SEDIMENTS OF ARTIFICIALLY CREATED WATER BODIES

ABSTRACT: THIS ARTICLE EXAMINES THE EXISTING METHODOLOGICAL APPROACHES TO ASSESS THE ECOLOGICAL STATE OF THE SEDIMENT, ARE THE MAIN DISADVANTAGES OF EACH APPROACH.

KEYWORDS: SEDIMENT, POND, RESERVOIR, METHODOLOGICAL FEATURES, CLARK, BACKGROUND CONCENTRATIONS, GRAIN SIZE DISTRIBUTION

Введение

В процессе реализации промышленной и сельскохозяйственной деятельности в XX веке было сооружено значительное количество искусственных водных объектов. Наиболее крупными из них являются водохранилища. Так, для территории Российской Федерации их число превышает 30000, а общая площадь водного зеркала составляет более 400 тыс. км².

Механические и физико-химические процессы, происходящие в искусственно созданных водных объектах (ИСВО) имеют собственные отличительные особенности, что способствует формированию уникальных эколого-гидрохимических и гидрогеохимических ситуаций.

Донные отложения являются индикаторами длительной истории существования ИСВО. Эффективность их изучения обусловлена возможностями решения целого ряда задач, связанных с оконтуриванием источников негативного воздействия, формирования эколого-геохимических аномалий, выявлением особенностей массопереноса и т.п. В тоже время в Российской Федерации не разработана единая методика оценки качества донных отложений как природных, так и искусственно созданных водных объектов. В связи с этим исследователи используют различные методологические подходы к оценке их состояния. Сравнение результатов таких исследований не всегда возможно, ввиду отсутствия исходной информации в работах и применении различных параметров.

Основной причиной отсутствия единства в методологических подходах к изучению донных отложе-

ний является отсутствие разработанных ПДК и ОДК загрязняющих веществ в донных отложениях. Лишь в отдельных регионах (например, г. Санкт-Петербург) разработаны региональные нормативы содержания загрязняющих веществ в донных отложениях.

Целью настоящей работы является анализ существующих основных методических подходов и их апробация для донных отложений Воронежского водохранилища.

Для достижения цели были поставлены и последовательно решены следующие задачи:

- 1) Анализ существующих методических подходов по оценке содержания тяжелых металлов в донных отложениях;
- 2) Использование существующих методов оценки для обработки данных мониторинга состояния донных отложений Воронежского водохранилища;
- 3) Выявление эффективности существующих методологических подходов, определение возможности их использования для крупных ИСВО.

Существующие методические подходы

Исследование донных отложений, как правило, направлено на изучение содержания химических элементов в их составе и выявлению геохимических аномалий с последующим их оконтуриванием с целью выявления источника воздействия. Для оценки геохимического состояния донных отложений разработано несколько критериев. Один из подходов основан на градации кратности превышения содержания загрязняющих веществ относительно выбираемых

показателей качества донных отложений. В основу этого подхода положен метод расчета *коэффициентов концентраций* (K_k):

$$K_k = \frac{C_i}{C_{\phi}},$$

где C_i и C_{ϕ} – концентрации загрязняющего вещества соответственно на исследуемом и фоновом участках.

Для расчета коэффициентов концентраций используются в качестве фоновых значений следующие показатели: кларки горных пород [1], литосферы [2], земной коры [3], кларки осадочных пород [4] кларки почв [5, 6], геохимический фон [7], региональный фон почв, ПДК почв [5, 6], условно фоновые концентрации загрязняющих веществ в донных отложениях, отобранные выше по течению относительно района исследования [8]. Также используются фоновые концентрации в донных отложениях озер, расположенных на территории особо охраняемых природных территорий региона [9]. Отдельные исследователи Западной Сибири производят расчет коэффициентов концентраций тяжелых металлов в донных отложениях озер, расположенных в районах нефтедобычи, относительно их содержания в торфах [10]. Вопросы формирования эколого-геохимического фона подробно рассмотрены в работах [11, 12, 13].

Использование кларков горных пород, литосферы, земной коры, кларков почв, региональных кларков [1, 14, 15] является наиболее распространенным методом. Геологическое строение и наличие пород различного генезиса в районах исследований, присутствие специфических грунтов оказывают влияние на среднее содержание химических элементов, как в почвах, так и в земной коре. При этом возможны значительные отклонения от кларковых содержаний земной коры в целом. В результате такого сравнения возможно получение информации лишь об участках концентрирования или рассеивания элементов. Кларк как величина с высоким уровнем осреднения не позволяет дать объективную геоэкологическую оценку. Превышение региональных концентраций над кларковыми концентрациями по всем исследуемым элементам не всегда отражает техногенное воздействие на изучаемую территорию.

Использование кларков для оценки техногенного воздействия на донные отложения природных объектов возможно при определении кларковых содержаний микроэлементов в объектах фоновых территорий, сходных с исследуемым объектом по определенным критериям (ландшафтным, климатическим и т.д.).

Другим часто используемым подходом является оценка качества донных отложений на основании методологических подходов, разработанных для почв.

Для почвенных отложений, в отличие от донных, разработаны нормативы ПДК и ОДК загрязняющих веществ. Кроме того, для почв, как правило, имеются данные о региональных фоновых концентрациях, полученных в антропогенно незатронутых районах, представляющих собой особо охраняемые природные территории. Для отдельных регионов даже существуют

фоновые концентрации для городских территорий [16]. Оценка почв производится на основе методики, изложенной в СП «Инженерно-экологические изыскания для строительства» [17]. Содержание тяжелых металлов (ТМ) находится на уровне природного содержания, если их концентрации находятся в пределах 2 фоновых значений. Если содержание ТМ находится в пределах от 2 фоновых значений до ПДК (ОДК) этих веществ, то уровень загрязнения – средний, выше ПДК – высокий.

Таким образом, четкая градация и наличие исходных данных по почвенным отложениям приводят к широкому использованию почвенных методик для оценки загрязнения донных отложений. Однако использование методов оценки загрязнения почв для донных отложений является не корректным в связи с различием генезиса и путей преобразования указанных отложений.

Также в исследованиях часто используют концентрации элементов на отдельных участках исследуемого водного объекта. Участки, расположенные выше по течению от источников загрязнения, позволяют выделять условно фоновые или субфоновые концентрации [18, 15, 19, 11]. Такой подход является наиболее приоритетным, так как учитывает геологическое строение региона, региональные концентрации загрязняющих веществ. Использование условно фоновых концентраций позволяет отражать характер техногенного прессинга на водный объект в пределах техногенно нагруженных территорий.

Другим методологическим подходом является сравнительная оценка загрязнения донных отложений с помощью определения *показателя накопления* металлов [20, 21]:

$$ПН = \frac{C_i - C_{\phi}}{C_{\phi}} * 100\%$$

где C_i и C_{ϕ} – концентрации металла соответственно на рассматриваемом и фоновом участках.

Указанный показатель используется для сравнительной оценки загрязнения грунтов. Он характеризует превышение содержания рассматриваемого элемента в данной точке отбора относительно фоновых концентраций. Кроме того, показатель накопления может быть рассчитан относительно других створов при замене в расчётной формуле значения фоновой концентрации на концентрацию элемента в расчётном створе.

Однако просто расчёт коэффициентов концентраций, показателя накопления и других количественных параметров не позволяет дать геоэкологическую оценку водному объекту по содержанию ТМ в донных отложениях. Для этого необходимо использование критериев оценки и разработка четких уровней градаций уровней загрязнения. В этом направлении разработано также ряд методик.

Одним из наиболее известных критериев оценки техногенного воздействия на донные отложения является *суммарный показатель загрязнения* (Z_c). Его расчет производится для точки отбора проб или створа наблюдений по всем анализируемым ТМ:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_k \times (m - 1)$$

где K_k – коэффициент концентрации;
 n – число учитываемых элементов.

Частота используемости данной методики связана с тем, что в качестве коэффициентов концентрации здесь могут быть использованы расчеты относительно всех параметров, о которых говорилось выше. Использование суммарного показателя используется в ряде работ, в том числе [11, 22]

Так, например, в работах Д. П. Фокина, Г. Т. Фрумина показана зависимость содержания тяжелых металлов от кларков почвенных отложений [5, 6]. Согласно их исследованиям, содержание тяжелых металлов соответствует правилу Оддо Гаркинса: среднегалактическая распространенность химических элементов с четными порядковыми номерами всегда более высокая, чем распространенность соседних химических элементов с нечетными порядковыми номерами. Для дальнейшей оценки уровня загрязнения донных отложений они используют суммарный показатель загрязнения Z_c , основанный на сравнении с ПДК/ОДК загрязняющих веществ в почвах:

$$Z_c = \sum \left(\frac{[Me]}{ОДК_o} - 1 \right)$$

где $[Me]$ – средняя концентрация металла, в мг/кг;

ОДК₀ – ориентировочно допустимая концентрация, ниже которой донные отложения рассматриваются как чистые [23].

Однако использование суммарного показателя загрязнения, помимо различий в использовании фоновых концентраций в расчете имеет и различия в критериальных оценках.

Так, по методике Ю. Е. Саета [24] оценка загрязнения водных систем производится по показателю Z_c донных отложений (таблица 1):

Другим количественным методом оценки загрязнения донных отложений является **индекс геоаккумуляции** I_{geo} , разработанный в Германии Г. Мюллером [25], для расчета которого учитываются концентрации ТМ в тонкозернистых фракциях (менее 20 мкм) донных отложений C_n и геохимические фоновые значения B_n в иловых или глинистых отложениях:

$$I_{geo} = \frac{\lg_{10} C_n}{1.5 B_n}$$

Международная ассоциация исследователей IAWR водосбора р. Рейн на основе индекса геоаккумуляции разработала классификацию загрязнения воды, выделив 7 ступеней загрязнения (таблица 2):

Данный метод нашел широкое применение при проведении геоэкологических исследований в России [25]. Для оценки используются данные по значениям концентраций основных металлов по I_{geo} классам (таблица 3).

Таблица 1

Ориентировочная шкала оценки загрязнения водных систем

Уровень загрязнения	Z_c токсичных элементов в донных отложениях	Содержание токсичных элементов в воде
Слабый	Менее 10	Слабоповышенные относительно фона
Средний	10 – 30	Повышенные относительно фона; эпизодическое превышение ПДК
Сильный	30 – 100	Во много раз выше фона; стабильное превышение отдельными элементами уровней ПДК
Очень сильный	Более 100	Практически постоянное присутствие многих элементов в концентрациях выше ПДК

Таблица 2

Индекс качества воды IAWR (биохимические данные) и индекс геоаккумуляции I_{geo} тяжелых металлов в донных отложениях [26]

I_{geo}	Уровень загрязнения тяжелыми металлами	Техногенная нагрузка на водные экосистемы	Экологические зоны водных экосистем; классы состояния донных осадков
0	Незагрязненный	Слабая (малоопасная)	Зоны нормы; класс удовлетворительного (благоприятного) состояния
1		Незагрязненный до умеренно загрязненного	
2	Умеренно загрязненный	Умеренная (умеренно опасная)	Зона риска; класс неблагоприятного состояния
3		Средне загрязненный	
4	Сильно загрязненный	Сильная (опасная)	Зона кризиса; класс весьма неблагоприятного состояния
5		Сильно загрязненный (до чрезмерно загрязненного)	
6	Чрезмерно загрязненный	Чрезмерная (чрезвычайно опасная)	Зона бедствия; класс катастрофического состояния

Таблица 3

Значения концентраций основных металлов по $I_{\text{ГЕО}}$ классам, мг/кг [26]

Элемент	$I_{\text{ГЕО}}$ классы						
	0 незагрязненный	1 незагрязненный до умеренно загрязненного	2 умеренно загрязненный	3 средне загрязненный	4 сильно загрязненный	5 сильно загрязненный до умеренно загрязненного	6 чрезмерно загрязненный
Fe, %	7,08	14,16	28,32	56,64	>56,64		
Mn	1275	2550	5100	10200	20400	40800	>40800
Cd	0,45	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	3264	>3264
Cr	135	270	540	1080	2160	4320	>4320
Hg	0,6	1,2	2,4	4,8	9,6	19,2	>19,2

Таблица 4

Средние значения концентраций ТМ в земной коре и донных отложениях

Элементы	V_n , в земной коре, мг/кг	V_n , для фракции донных отложений <2+20 мкм, мг/кг
Hg	0,04	0,4
Cr	11	90
Ni	20	68
Cu	4	45
Pb	9	20
Zn	20	95
Cd	0,3	0,3
Mn	1100	850
Fe	3800	4720

Для расчёта индекса геоаккумуляции параметр среднего значения концентраций тяжелых металлов V_n используется по справочным данным [25], приведенным в таблице 4.

Указанный методический подход имеет ограничения в области его применения: он может использоваться только для тонкой фракции ДО. В связи с этим анализ донных отложений всей акватории Воронежского водохранилища не может быть произведен на основе указанной методики, так как верховье водоема и русло бывшей реки Воронеж сложены песчаной фракцией. Однако нижняя часть водоема, сложенная иловой фракцией, может быть оценена.

Также существует достаточно простой метод условной оценки степени загрязнения водных объектов, основанный на содержании ТМ в донных отложениях [18], разработанный Агентством по охране окружающей среды США (U.S. Environment Protection Agency) (таблица 5).

Использование нормативов USEPA по качеству

Нормативы USEPA по качеству донных отложений

Уровень загрязнения	Содержание ТМ, мг/кг					
	Hg	Cr	Cd	Cu	Pb	Zn
Незагрязненные	<1,0	<25,0	-	<25	<40	<90
Умеренно загрязненные	-	25–75	-	25–50	40–60	90–200
Сильнозагрязненные	>1,0	>75	>6	>50	>60	>200

Таблица 5

донных отложений позволяет в экспресс режиме оценить качество исследуемого водного объекта по содержанию отдельных элементов, однако не дает интегральной оценки экологического состояния донных отложений водоема. Использование указанного метода, несмотря на удобство и простоту, даст результаты, не позволяющие оценить экологическое состояние водоема, расположенного в физико-географических условиях, различных от условий Северной Америки, в связи с различиями в геохимическом фоне территорий.

Проведенный анализ позволил подтвердить единообразие используемых показателей при различных эколого-геохимических оценках донных отложений. Однако применение разных методологических подходов дает зачастую противоположенные результаты, которые позволяют интерпретировать одну и ту же ситуацию либо как норму, либо как аномалию. Согласно В.А. Королеву [27] совершенствование методики эколого-геологической оценки донных отложений водохранилищ должно базироваться на правилах применения известных методов и показателей с учетом специфики водохранилищ, их режима, особенностей накопления донных осадков, их состава, наличия техногенных источников загрязнения и т.п.

Обсуждение результатов исследований

Выработка методологии эколого-геохимической оценки донных отложений проводилась на примере Воронежского водохранилища, представляющего собой водоем руслового типа с замедленным водообменом с полным отсутствием регулирующей емкости при постоянном уровне воды, поддерживаемым на отметке 93,0 м. Частично водообмену способствуют ветровые течения, особенно усиливающиеся в начале и конце волнового периода.

Донные отложения Воронежского водохранилища характеризуются достаточно разнообразным химическим составом. Во-первых, на содержание тяжелых металлов в донных отложениях в значительной мере влияет тот факт, что заполнение водохранилища происходило без должной очистки русла и пойменной части реки Воронеж. Почвенные отложения не были сняты, объекты, расположенные в пойме, были затоплены. Во-вторых, Воронежское водохранилище все больше используется в качестве приемника сточных вод. Среди основных загрязнителей водной среды выделяют тяжелые металлы (ТМ), которые обладают токсическим действием на жизнедеятельность биоты и консервативным действием в инерционном ее звене – донных отложениях.

Различные методологические подходы были применены нами для оценки экологического состояния акватории Воронежского водохранилища. Для этого использовался большой фактический материал, включающий более 2100 анализов проб поверхностных вод водоема, 840 проб донных отложений, более 1040 проб сточных вод, поступающих в Воронежское водохранилище по водовыпускам от основных водопользователей. На основе данных многолетнего мониторинга были рассчитаны коэффициенты концентраций по ряду исследуемых тяжелых металлов относительно:

- фоновых показателей почв городских территорий [16],
- кларков для земной коры [9],
- ПДК/ОДК валовых форм содержания тяжелых металлов в суглинистых почвах,
- условно фоновых концентраций, полученных в результате анализа проб донных отложений верховья Воронежского водохранилища.

Сравнение данных, полученных при использовании коэффициентов концентраций, рассчитанных с использованием перечисленных параметров, позволили получить результаты (рис. 1–6). Основные точки мониторинга, относительно которых представлены расчеты на рис. 1–8, представлены в таблице 6.

Анализ содержания никеля с помощью рассматриваемых показателей говорит о значительном превышении его содержания относительно фоновой пробы, отобранной в верховье Воронежского водохранилища, в районе глубоководных участков водоема, где преимущественно распространены иловые грунты. На участках распространения песчаной фракции донных отложений, к которой и относится фоновая проба, содержание никеля находится в пределах фоновой концентрации. Фоновые значения никеля в почвах фиксируются лишь в местах техногенного прессинга в районе влияния сбросов сточных вод ОАО «Электроприбор» и ВПС-8.

Значительные превышения фоновых показателей как ДО, так и почв наблюдаются лишь в местах сбросов стоков ООО «ЛОС», ТЭЦ-1 и ВПС-8, однако они не превышают установленного ОДК никеля для почв – 80,0 мг/кг. До кларковых значений концентрации

доходят лишь в одной точке отбора – ниже впадения р. Песчанка.

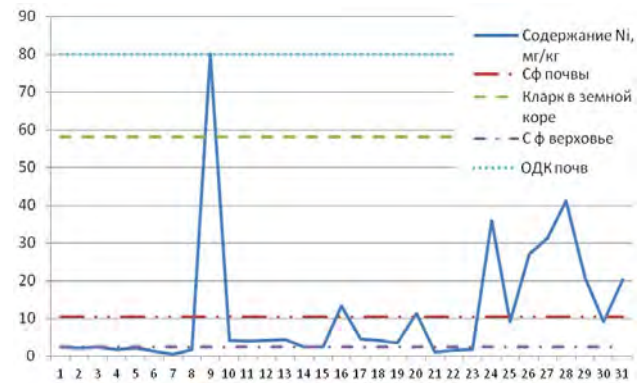


Рис. 1. Содержание никеля, относительно фоновой концентрации для почв, его кларка для земной коры, фоновой концентрации для верховья водоема и ОДК для почв.

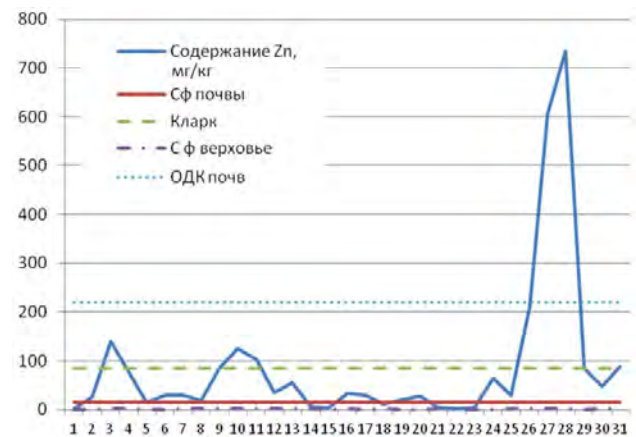


Рис. 2. Содержание цинка относительно фоновой концентрации и ОДК для почв, его кларка для земной коры, фоновой концентрации для верховья водоема.

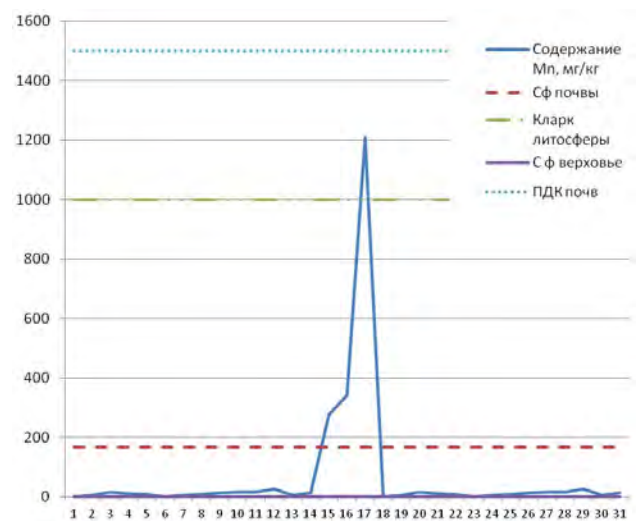


Рис. 3. Содержание марганца (мг/кг) относительно фоновой концентрации для почв, его кларка для земной коры, фоновой концентрации для верховья водоема и ПДК для почв.

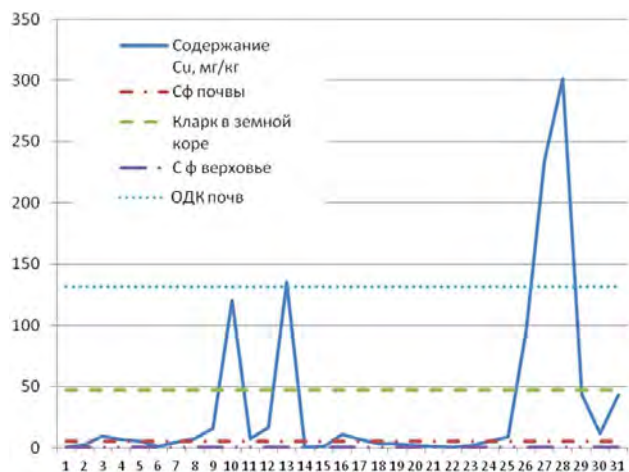


Рис. 4. Содержание меди (мг/кг) относительно фоновой концентрации и ОДК для почв, ее кларка для земной коры, фоновой концентрации для верховья водоема.

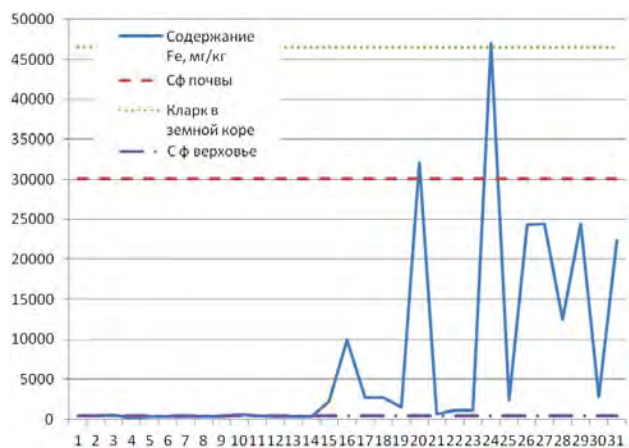


Рис. 5. Содержание железа относительно фоновой концентрации для почв, его кларка для земной коры, фоновой концентрации для верховья водоема.



Рис. 6. Содержание свинца относительно фоновой концентрации для почв, его кларка для земной коры, фоновой концентрации для верховья водоема и ПДК для почв.

Это говорит о бессмысленности применения кларковых концентраций и почвенных оценок для расчета K_k . Фоновые концентрации верховья водохранилища хорошо отражают характер распределения никеля в донных отложениях водоема. Однако значительное превышение отмечено в глубоководных частях водо-

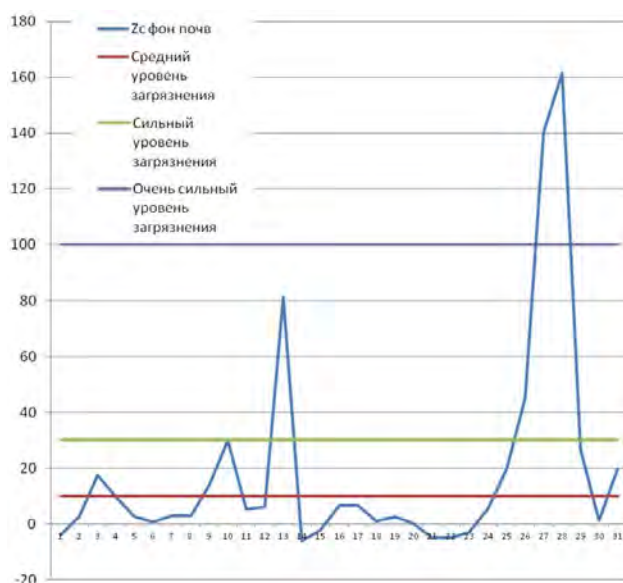


Рис. 7. Экологическое состояние Воронежского водохранилища по суммарному показателю загрязнения (Z_c фон), рассчитанному относительно фоновых показателей почвенных отложений.

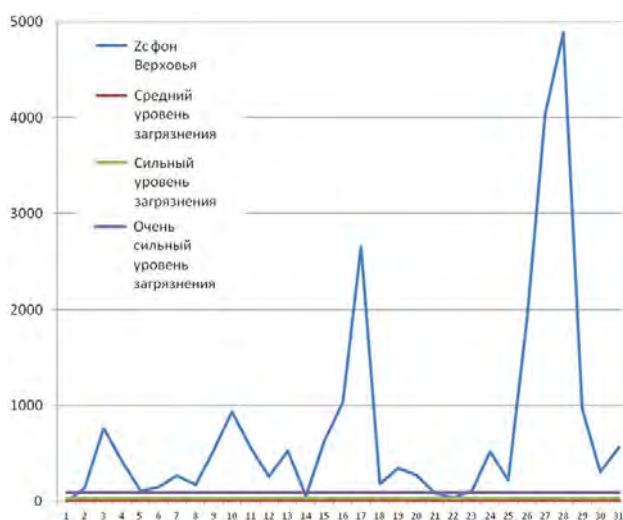


Рис. 8. Экологическое состояние Воронежского водохранилища по суммарному показателю загрязнения (Z_c фон Верховья), рассчитанному относительно фоновых показателей верховья Воронежского водохранилища.

охранилища. Помимо влияния техногенных факторов на разницу в значениях оказывает влияние гранулометрический состав донных отложений.

Региональный фон для Воронежского водохранилища по содержанию цинка представляет собой незначительные концентрации, как относительно содержания в почвах, так и относительно верховья водоема. При этом кларковые концентрации и ОДК для цинка превышаются лишь в точке с максимальным техногенным прессингом: в районе железнодорожного моста и сбросов ООО «ЛОС».

Концентрации марганца в водохранилище наиболее хорошо сопоставляются с условно фоновыми концентрациями (рис. 3). Лишь в районе влияния сброса ООО «Электроприбор» его содержание превы-

Таблица 6
Точки мониторинга Воронежского водохранилища

№ п/п	Точка мониторинга
1	Верховье Воронежского водохранилища
2	В районе водоподъемной станции № 4
3	Ниже по течению от железнодорожного моста
4	В районе набережной М. Горького
5	В районе Чернавского моста
6	Выше по течению от дамбы Чернавского моста
7	В районе парка Алые паруса
8	В районе ул. Острогжская
9	Ниже по течению впадения р. Песчанка
10	В районе сброса сточных вод ООО "ЛОС" (Левобережные очистные сооружения) (в районе русла бывшей реки Воронеж)
11	В районе Шиловского леса
12	Затон Шилово
13	В районе пос. Таврово
14	Выше гидроузла
15	Ниже плотины гидроузла (водослив)
16	На 500 м ниже сброса сточных вод ОАО "Электроприбор"
17	В районе места сброса ОАО "Электроприбор"
18	Воронежское водохранилище выше окружного моста
19	В р-не микрорайона Отрожка
20	Ниже сброса сточных вод ВПС-8 (водоподъемная станция – 8, осуществляющая сброс стоков после установки обезжелезивания)
21	500 м ниже сброса ливневых сточных вод МУП "Горкомхоз"
22	В районе сброса сточных вод ОАО "ВАСО" (Воронежское акционерное самолетостроительное Общество)
23	На 500 м ниже сброса сточных вод ОАО "ВАСО"
24	В месте сброса сточных вод ВПС-8 (водоподъемная станция – 8)
25	В месте сброса сточных вод ТЭЦ-1
26	На 500 м ниже сброса сточных вод ТЭЦ-1
27	В месте сброса сточных вод ООО "ЛОС" (в конусе выноса сброса)
28	500 м ниже сброса сточных вод ООО "ЛОС"
29	Масловский затон
30	В месте впадения р. Песчанка
31	В месте сброса ливневых вод (наб. Буденого)

шает фоновые концентрации почв и кларк. До уровня ПДК в почвах содержание марганца не доходит.

Фоновое содержание меди в почвах находится достаточно близко к условному фону донных отложений для исследуемого водоема (рис. 4). В целом содержание меди находится в пределах или немного выше фоновых значений. В районе пос. Таврово и сбросов ООО «ЛОС» его концентрация достигает кларков, в отдельных точках района ООО «ЛОС» превышает ОДК для почв.

Несмотря на общий высокий геохимический фон, содержание железа в донных отложениях находится на уровне условно фонового (рис. 5). В местах влияния сбросов сточных вод, учитывая высокий уровень его техногенного воздействия, он приближается к

фоновому содержанию железа в почвах. И лишь в месте сброса стоков ВПС-8, где при обследовании выявлено образование желваков лимонита, содержание Fe в донных отложениях достигает кларка для земной коры.

Содержание свинца в донных отложениях Воронежского водохранилища в разы превышает фоновые показатели для верховья водоема и в отдельных точках отбора – фоновые показатели для почв (рис. 6). В районе влияния сброса ОАО «Электроприбор», парка Алые паруса и микрорайона Отрожка содержание свинца доходит до кларкового значения и превышает его. Высокое аномальное значение фиксируется в районе сброса сточных вод ТЭЦ-1, ООО «ЛОС», а также в Масловском затоне, что подтверждает факт его техногенного привноса в водоем. Однако, все значения на порядок ниже норматива ПДК для почв, что также подтверждает некорректность использования почвенных градаций для оценки загрязнения донных отложений.

Для проведения сравнительного анализа результатов применения различных методологических подходов также был произведен расчет суммарных показателей загрязнения для Воронежского водохранилища на основании методики Ю.Е. Саета [24]. При этом в качестве фоновых концентраций использовались как фоновые показатели для почвенных отложений, так и фоновые концентрации тяжелых металлов в донных отложениях верховья Воронежского водохранилища.

Результаты показывают, что при использовании фоновых концентраций почвенных отложений большая часть акватории Воронежского водохранилища относится к среднему уровню загрязнения. При этом по классификации Ю.Е. Саета [24] относительно качества поверхностных вод, прослеживается эпизодическое превышение ПДК и относительное превышение фоновых концентраций. Превышения до сильного и очень сильного загрязнения фиксируются в местах отбора проб, характеризующихся высоким токсикологическим уровнем. Использование фоновых концентраций почвенных отложений позволяет идентифицировать зоны со значительным превышением ПДК и ОДК веществ. Незначительные увеличения концентраций в отдельных точках отбора остаются на уровне среднего загрязнения или природного содержания.

В случае применения условно фоновых концентраций водоема, полученных в результате анализа донных отложений верховья Воронежского водохранилища, суммарный показатель загрязнения имеет огромные значения (рис. 8). В большей степени за исключением отдельных точек, где концентрации тяжелых металлов минимальны, загрязнение водоема находится на уровне очень сильного, при этом превышая пороговое значение в десятки раз. Использование такого подхода непосредственно для оценки донных отложений Воронежского водохранилища не дает объективной информации. Это связано с наличием различных зон в водоеме, значительно отличающихся по своим гидрологическим, гидрохимическим и геохимическим показателям.

На основании расчета индекса геоаккумуляции был произведен расчет классов I_{geo} загрязнения для нижнего бьефа Воронежского водохранилища и мест распространения иловой фракции донных отложений (табл. 7). Для этого был произведен анализ проб ДО на гранулометрический состав. Часть проб, представленных песчаной фракцией была отсеяна.

По большей мере глинистая фракция донных отложений расположена в нижнем бьефе водохранилища.

Данная часть максимально подвержена техногенной нагрузке, что, несомненно, отражается на составе донных отложений. Однако по индексу аккумуляции большая часть проб по всем ТМ относится к классу слабого или умеренного загрязнения. В эту градацию также попали пробы, отобранные в районе сброса стоков ООО «ЛОС», где содержание тяжелых металлов находится на высоком уровне.

Таблица 7

Расчет индекса геоаккумуляции (I_{GEO}) для иловой фракции донных отложений Воронежского водохранилища

Точка мониторинга	I_{geo} Ni	I_{geo} Zn	I_{geo} Mn	I_{geo} Cu	I_{geo} Pb	I_{geo} Fe
Ниже железнодорожного моста	0,019	0,075	0,005	0,072	0,077	0,002
В районе набережной М. Горького	0,014	0,066	0,004	0,062	0,034	0,002
В районе парка Алые паруса	-0,011	0,052	0,002	0,047	0,202	0,002
В районе ул. Остроужская	0,011	0,044	0,004	0,064	0,156	0,002
Ниже впадения р. Песчанка	0,093	0,068	0,004	0,089	0,104	0,002
В районе сброса стоков ООО "ЛОС" (русло реки Воронеж)	0,030	0,073	0,005	0,153	0,182	0,002
Район Шиловского леса	0,029	0,070	0,005	0,065	-0,021	0,002
Затон Шилово	0,031	0,054	0,005	0,090	-0,008	0,002
В районе пос. Таврово	0,032	0,061	0,003	0,157	-0,026	0,002
Выше гидроузла	0,019	0,027	0,005	-0,014	-0,100	0,002
500 м ниже сброса сточных вод ОАО "Электроприбор"	0,055	0,053	0,010	0,076	0,222	0,003
Воронежское водохранилище выше окружного моста	0,030	0,036	-0,001	0,039	0,208	0,002
500 м ниже сброса стоков МУП "Горкомхоз"	0,004	0,021	0,004	-0,003	0,148	0,002
В месте сброса сточных вод ТЭЦ-1	0,047	0,052	0,004	0,070	0,102	0,002
500 м ниже сброса сточных вод ТЭЦ-1	0,070	0,081	0,004	0,146	0,324	0,003
В месте сброса сточных вод ООО "ЛОС" (конус выноса)	0,073	0,097	0,005	0,175	0,312	0,003
500 м ниже сброса сточных вод ООО "ЛОС"	0,079	0,100	0,005	0,183	0,327	0,003
В месте впадения р. Песчанка	0,047	0,059	0,003	0,078	0,130	0,002
В месте сброса ливневых вод (наб. Буденого)	0,064	0,068	0,005	0,121	0,291	0,003

Заключение

Полученные результаты свидетельствуют о том, что:

1. Использование кларковых значений и почвенных характеристик не позволяют дать достоверную оценку экологического состояния водоема. Использование почвенных оценок является некорректным, в связи с различием генезиса и физико-химических характеристик донных и почвенных отложений.

2. Ведущим показателем формирования эколого-геохимических ситуаций в донных отложениях является их гранулометрический состав, который становится основополагающим критерием методик эколого-геохимических оценок.

3. Расчет индекса геоаккумуляции I_{geo} для внутригородских водохранилищ с замедленным водообменом малоэффективен и не дает объективной оценки ситуации.

4. Разработка новых методических подходов должна базироваться на выработке четких градаций эколого-геохимических оценок ДО, систематизирующих группы используемых параметров, среди которых: гранулометрический состав, суммарный показате

ль загрязнения, использование условно фоновых значений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Виноградов, А. П.* Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А. П. Виноградов. – Изд. 2-е. – М.: Изд. Академии наук СССР, 1957. – 240 с.
2. *Бикташева, Ф. Х.* Содержание тяжелых металлов в донных отложениях озера Асылыкуль Республики Башкортостан / Ф. Х. Бикташева, Л. Ф. Латыпова // Известия ОГАУ. – 2012. – № 34-1. – С. 208–210.
3. *Слуковский, З. И.* Происхождение кадмия в донных отложениях рек города Петрозаводска: техногенез или природа? / З. И. Слуковский // Геология и полезные ископаемые Карелии. – Вып. 16. – Петрозаводск, 2013. – С. 132–136.
4. *Назаров, Н. Н.* Геохимические горизонты и микроэлементный состав донных отложений Воткинского водохранилища / Н. Н. Назаров, А. В. Сунцов // Географический вестник, 2008. – № 2. – С. 26–36.
5. *Фокин, Д. П.* Тяжелые металлы в донных отложениях восточной части Финского залива (по данным федерального мониторинга 2001–2009 гг.) / Д. П. Фокин, Г. Т. Фрумин // Общество. Среда. Развитие. – № 1. – 2011. – С. 210–214.
6. *Фокин, Д. П.* Содержание и распределение химических элементов в донных отложениях восточной части Финского

- залива / Д. П. Фокин, Г. Т. Фрумин, А. Е. Рыбалко // Экологическая химия. – Т. 19. – Вып. 4. – 2010. – С. 236 – 242.
7. Семенова, И. Н. Пространственная изменчивость тяжелых металлов в донных отложениях левобережья северной части Ириклинского водохранилища / И. Н. Семенова, Г. Ш. Кужина, Г. А. Ягофарова, А. А. Аминова // Фундаментальные исследования, 2014. – № 6 – 7. – С. 1418 – 1422.
8. Зубарев, В. А. Анализ тяжелых металлов донных отложений малых рек, подверженных влиянию сельскохозяйственной мелиорации, на территории Среднеамурской низменности / В. А. Зубарев // Известия ТПУ, 2014. – № 1. – С. 203 – 208.
9. Виноградов, А. П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры / А. П. Виноградов // Геохимия, 1962. – С. 555 – 571.
10. Савичев, О. Г. Химический состав донных отложений реки Васюган и ее притоков / О. Г. Савичев, В. А. Базанов // Известия ТПУ, 2006. – № 3. – С. 37 – 41.
11. Гришанцева, Е. С. Эколого-геохимическая оценка состояния Волжского источника водоснабжения города Москвы / Е. С. Гришаева, Н. С. Сафронова // Водные ресурсы, 2012. – Т. 39. – № 2. – С. 1–19.
12. Титаева, Н. А. Закономерности распределения ряда химических элементов в донных отложениях и почвах района Ивановского водохранилища р. Волги / Н. А. Титарева, Е. С. Гришанцева, Н. С. Сафронова // Вестн. МГУ. Сер. 4: Геология. – 2007. – № 3. – С. 50–58.
13. Титаева, Н. А. Эколого-геохимическая ситуация в районе Ивановского водохранилища р. Волги / Н. А. Титарева, Н. С. Сафронова, И. В. Ланцова, И. В. Кукушкина // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. – 1998. – № 4. – С. 51–64.
14. Беус, А. А. Геохимия окружающей среды / А. А. Беус, И. И. Грабовская, Н. В. Тихонова. – М.: Недра, 1976. – 267 с.
15. Касимов, Н. С. Геохимическая оценка состояния ландшафтов речного бассейна по донным отложениям / Н. С. Касимов, Р. Л. Пенин // Мониторинг фоновых загрязнений природных сред. – Вып. 7. – Л. – 1991. – С. 123–135.
16. Распоряжение главы города Липецка от 29.05.2007 N 1183-р «Об утверждении перечня фоновых показателей почв г. Липецка» (вместе с «Перечнем фоновых показателей содержания вредных веществ (21 ингредиент), а также фоновым уровнем загрязнения почв по бактериологическим и радиологическим показателям в почвах города Липецка»). 17. СП 11-102-97. Инженерно-экологические изыскания для строительства. – 43 с.
18. LIU W. The application of preliminary sediments quality criteria to metal contamination in the Le An River. / W. Liu, Z. Wang, X. Wen, H. Tang // Environment pollution, 1999. – P. 355 – 366.
19. Янин, Е. П. Техногенные илы – потенциальный источник вторичного загрязнения речных систем / Е. П. Янин, И. И. Разенкова, М. Г. Журавлева // Геоэкологические исследования и охрана недр, 1992. – Изд-во: Науч.-техн. информ. сб. – С. 43 – 52.
20. Бреховских, В. Ф. Донные отложения Ивановского водохранилища / В. Ф. Бреховских, Т. Н. Казмирук, В. Д. Казмирук. – М.: Наука, 2006. – 253 с.
21. Косов, В. И. Концентрации тяжелых металлов в донных отложениях Верхней Волги. / В. И. Косов, Г. Н. Иванов, В. В. Левинский, Е. В. Ежов // Водные ресурсы, 2001. – С. 448 – 453.
22. Титаева, Н. А. Эколого-геохимические исследования водных и наземных экосистем района Ивановского водохранилища р. Волги / Н. А. Титарева, Н. С. Сафронова, Е. С. Шепелева [и др.] // Вестн. МГУ. Сер. 4: Геология. – 2004. – № 1. – С. 42 – 53.
23. Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга // Региональный норматив, разработанный в рамках российско-голландского сотрудничества по программе PSO 95/RF/3/1 – СПб., 1996 – 20 с.
24. Саев, Ю. Е. Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Саев, Б. А. Ревич, Е. П. Янин [и др.]. – М.: Недра, 1981. – 335 с.
25. FORSTNER J. Concentrations of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in river sediments: geochemical background, man's influence and environmental impact / U. Forstner, G. Muler // Geojournal, 1981. – P. 417 – 432.
26. Даувальтер, В. А. Геоэкология донных отложений озер / А. А. Даувальтер. – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2012. – 242 с.
27. Королёв, В. А. Экологический мониторинг и его современное состояние в России / В. А. Королёв // Мат-лы X межвузовской молодежной научн. конф, СПб.: Изд-во СПбГУ, 2009. – С. 75 – 87.

Воронежский Государственный Университет

Косинова И. И., профессор, доктор геолого-минералогических наук, заведующая кафедрой экологической геологии
E-MAIL: KOSINOVA777@YANDEXRU
Тел.: 8-473-220-82-89

Соколова Т. В., аспирант кафедры экологической геологии
E-MAIL: TAN-0301@YANDEXRU
TEL.: 8-904-210-64-20

VORONEZH STATE UNIVERSITY

KOSINOVA I. I., PROFESSOR, DOCTOR OF GEOLOGICAL AND MINERALOGICAL SCIENCES, HEAD OF ECOLOGICAL GEOLOGY CHAIR
E-MAIL: KOSINOVA777@YANDEXRU
TEL.: 8-473-220-82-89

SOKOLOVA T. V., THE POST GRADUATE STUDENT OF ECOLOGICAL GEOLOGY CHAIR
E-MAIL: TAN-0301@YANDEXRU TEL.: 8-904-210-64-20