

УДК 624.131.41; 577.4

ТИПЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ВОДЕ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ СРЕДНЕЙ И НИЖНЕЙ ВОЛГИ

© 2017 г. В.С. Валиев, Д.В. Иванов, Р.Р. Шагидуллин,
И.И. Зиганшин, Д.Е. Шамаев, Р.Р. Хасанов

Институт проблем экологии и недропользования ГНБУ «Академия наук Республики Татарстан», г. Казань, Россия

Ключевые слова: Средняя Волга, Нижняя Волга, водохранилище, загрязнение водных объектов, донные отложения, тяжелые металлы, нефтепродукты, эколого-гидрохимическое районирование, антропогенное воздействие, водные экосистемы.



В.С. Валиев



Д.В. Иванов



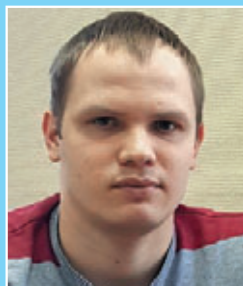
Р.Р. Шагидуллин



И.И. Зиганшин



Д.Е. Шамаев



Р.Р. Хасанов

Проанализированы результаты гидрохимической и грунтовой съемки Волги от Казани до Астрахани протяженностью 1800 км. Выполнен сопряженный анализ содержания органических (нефтепродукты, фенолы, пестициды) и неорганических (металлы – Cd, Co, Pb, Ni, Zn, Cr, Mn, Fe, Al) загрязняющих веществ и их соотношения в воде и донных отложениях Средней и Нижней Волги (Куйбышевское, Саратовское, Волгоградское водохранилища) и незарегулированного участка нижнего течения.

Для проверки гипотезы о системной взаимосвязи различных типов распределения содержания загрязняющих веществ в воде и донных отложениях в каскаде водохранилищ впервые использована их пространственно детерминированная сравнительная оценка. Выделены три основных типа простран-

ственного распределения поллютантов в системе «вода – донные отложения»: депонирующий, транзитный, активного или пассивного самоочищения. Для акватории Куйбышевского водохранилища характерен «транзитный» тип распределения металлов, характеризуемый их повышенными концентрациями в воде и отсутствием роста содержания в донных отложениях. Участки самоочищения от соединений металлов выявлены в акваториях Саратовского и Волгоградского водохранилищ, а депонирующие зоны характерны для нижнего течения Волги, где наблюдается аккумуляция металлов в седиментах. Значительная доля пестицидов и нефтепродуктов, поступающих в экосистемы волжских водохранилищ, аккумулируется донными отложениями. Наибольшая часть акватории Средней и Нижней Волги является зоной активного самоочищения от фенольных соединений. Показано, что при оценке экологического состояния Волги наиболее информативными являются показатели содержания в воде меди, никеля и хрома, а также железа, марганца, кадмия и нефтепродуктов в донных отложениях.

Оценка состояния водных объектов, имеющих сложный гидрологический режим, большую протяженность и огромную водосборную площадь, представляет непростую задачу, одним из подходов к решению которой является выделение в водном объекте различных специфических участков, системно друг с другом взаимосвязанных, но различающихся степенью загрязнения и самоочищения. Такой подход часто называют эколого-гидрологическим районированием и, в отличие от традиционных оценок качества поверхностных вод, он предполагает комплексную оценку донных отложений (ДО) [1–3]. Сложностью при этом является выделение принципов, на основе которых выявляется специфика тех или иных участков. В данном исследовании предлагается использовать пространственно детерминированную сравнительную оценку содержания загрязняющих веществ в воде и донных отложениях. Рабочей гипотезой исследования является предположение о двух основных и двух промежуточных типах распределения этих соотношений в пространстве, выделяемых для разных гидрологических условий [4–7]:

- снижение вниз по течению содержания загрязняющих веществ в воде и повышение в ДО, обусловленное высокой долей мелкодисперсных фракций в ДО и их высокой сорбционной емкостью – «депонирующий» тип;
- повышение содержания в воде и снижение в ДО, обусловленное снижением процессов аккумуляции на песчаных отложениях, на узких участках рек и водохранилищ или на русловых участках – «транзитный» тип;
- снижение содержания в воде и ДО, обусловленное увеличением расходов воды, расширением русловых участков;
- повышение содержания в воде и ДО, характерное для участков, непосредственно прилегающих к верхним бьефам гидроузлов и характеризующихся преимущественно биологическими процессами самоочищения водоема.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С целью проверки вышеприведенной гипотезы были проанализированы результаты гидрохимической и грунтовой съемок Волги от г. Казани до г. Астрахани протяженностью около 1800 км (рис. 1). Съемка охватывала участки Куйбышевского, Саратовского и Волгоградского водохранилищ, а также незарегулированный участок реки от г. Волгограда до устья. Аналитический массив данных представлен 75 пробами воды, отобранными как с поверхности, так и из придонных горизонтов, и 50 пробами донных отложений.

При выборе местоположения створов учитывали гидрологическое районирование акватории водохранилищ, точки отбора проб привязывали к расстоянию от истока Волги по руслу. Среднее расстояние между точками отбора составило 150 км. Учитывали также наличие рукавов и устьев крупных притоков, пробы отбирали выше и ниже крупных городов, по возможности охватывая различные биотопы. Следует особо отметить, что пробы отбирали в течение узкого временного интервала (первая декада августа), т. е. фактически была осуществлена одномоментная геохимическая съемка, что позволяет интерпретировать полученные результаты в едином временном срезе.

В пробах воды и донных отложений по общепринятым методам было определено содержание металлов (алюминий, железо, марганец, хром, цинк, никель, медь, свинец, кадмий), нефтепродуктов, фенолов и пестицидов (ГХЦГ и ДДТ).

В качестве инструмента для оценки динамики пространственного распределения использовались сопряженные графики распределения концентраций загрязняющих веществ в воде и донных отложениях в зависимости от расстояния до устья реки с полиномиальной интерполяцией.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При оценке распределения нефтепродуктов (НП) в воде и ДО Волги обнаружен значительный размах колебаний концентрации этого показателя по всем участкам исследования. Концентрации НП в воде колебались в пределах 0–0,15 мг/л (ПДК 0,05 мг/л), содержание в ДО – от 1 до 283 мг/кг. Для каскада водохранилищ (Куйбышевское – Саратовское – Волгоградское) характерен депонирующий тип распределения НП в системе «вода – донные отложения»: отмечено постепенное снижение концентрации нефтепродуктов в воде с параллельным увеличением их содержания в ДО (рис. 2). На русловом участке Волги, ниже плотины Волгоградской ГЭС, установлена противоположная тенденция – возрастание концентрации НП в воде при снижении их содержания в ДО. Вероятно, гидрохимические и гидрологические условия в русловой части реки способствуют транзиту НП, их аккумуляция в ДО замедляется по мере приближения к устьевой части Вол-

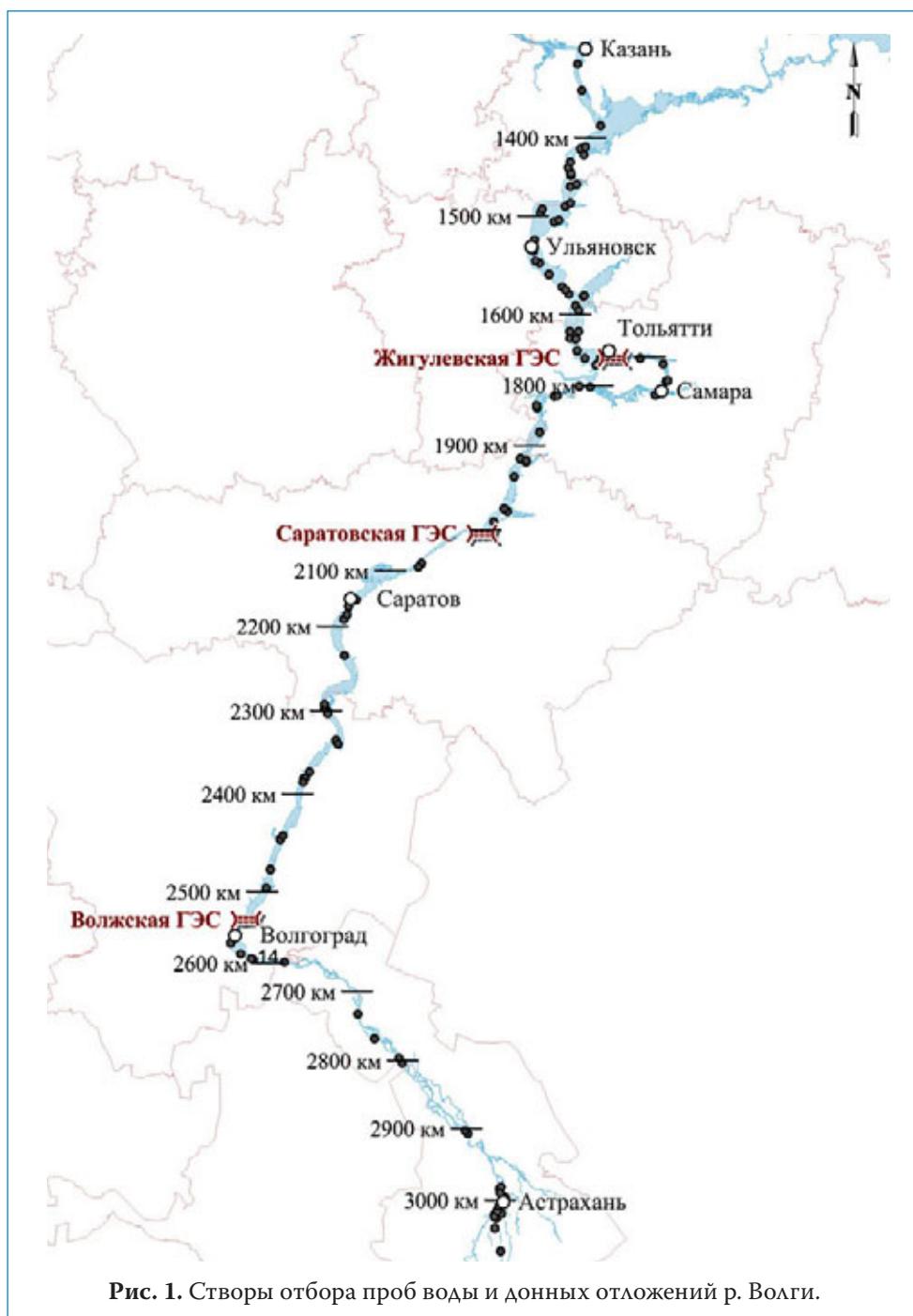


Рис. 1. Створы отбора проб воды и донных отложений р. Волги.

ги. Распределение НП в воде и ДО находится в своеобразной противофазе друг к другу с коэффициентом корреляции $r = -0,58$ ($p = 0,011$).

Таким образом, содержание НП в воде и ДО Средней и Нижней Волги является показателем, характеризующим способность водной системы к аккумуляции органических загрязняющих веществ, и представлено двумя основными типами распределения в системе «вода – донные отложения»: охватывающим водохранилища депонирующим участком и транзитным участком, выделяемым на естественном русле реки ниже Волгоградского гидроузла.

Несколько иная картина наблюдается при сравнительном анализе содержания в воде и ДО Волги фенолов (рис. 2). На участке, представленном каскадом трех водохранилищ, отмечается постепенное увеличение содержания фенолов как в воде, так и в ДО, а на русловом участке, наоборот, снижение этих показателей. Концентрация фенолов в воде водохранилищ колеблется в пределах от 0,001 до 0,008 мг/л (ПДК 0,001 мг/л) при содержании в ДО от 0 до 0,9 мг/кг, на русловом участке Волги – от 0,001 до 0,006 мг/л и от 0,2 до 1,5 мг/кг соответственно.

Содержание фенолов – типичный показатель, характеризующий уровень загрязнения водных экосистем, по изменению концентраций которых возможно отслеживать степень антропогенной нагрузки в отношении органических загрязняющих веществ. Тип распределения в системе «вода – донные отложения» указывает на накопление фенолов в водохранилищах в условиях замедленного стока и постепенное снижение их концентраций на участках, характеризующихся значительными скоростями стоковых течений (нижние бьефы ГЭС, русло Волги ниже г. Волгограда).

Анализ содержания пестицидов в воде водохранилищ широко используется в системе государственного мониторинга как высоко информативный показатель при контроле экологической ситуации в водных объектах, но при этом он мало пригоден для гидрохимического районирования. При анализе распределения пестицидов (ГХЦГ (ПДК в воде 0,002 мг/л) и ДДТ (ПДК в воде 0,1 мг/л) в Волге значительные их концентрации отмечены на участках Куйбышевского водохранилища в 2 км ниже г. Ульяновска и в районе г. Димитровграда (1676–1865 км). Если рассматривать их распределение вниз по течению, то в начале участка отмечается накопление пестицидов в ДО, а затем увеличение их концентраций в воде (рис. 2). Изменение содержания ГХЦГ и ДДТ происходит достаточно синхронно ($r = 0,89$, $p < 0,01$), что позволяет предположить наличие общего источника загрязнения пестицидами (поверхностный сток).

Важнейшими показателями, отражающими антропогенное воздействие на водные экосистемы, являются содержание и распределение в воде и ДО

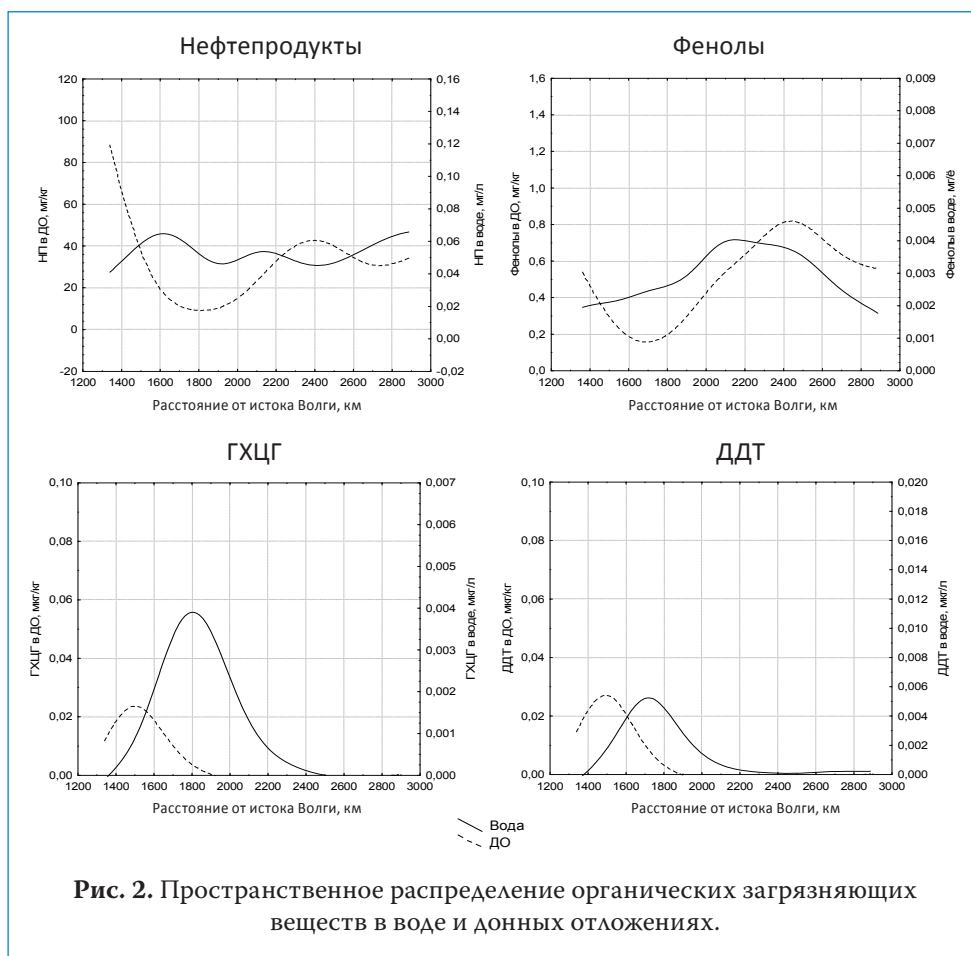


Рис. 2. Пространственное распределение органических загрязняющих веществ в воде и донных отложениях.

соединений металлов. Сложность проблемы загрязнения водной среды металлами заключается в том, что, с одной стороны, они не трансформируются в среде, меняя лишь форму нахождения, обладают ярко выраженным кумулятивным эффектом, легко мигрируют в экосистемах по пищевым цепям, высокотоксичны. С другой стороны, многие металлы являются жизненно важными микроэлементами, биогенными веществами (например, Fe, Zn, Cu, Co), стимуляторами и регуляторами развития фитопланктона и макрофитов, и, наконец, уровень загрязнения металлами относительно легко отслеживать, это удобный и репрезентативный параметр мониторинга водных объектов [8, 9].

Концентрации железа в воде изменялись в пределах 0–1,65 мг/л (ПДК 0,1 мг/л), а его содержание в ДО от 2250–12760 мг/кг. Важно отметить, что

изменения концентраций Fe в воде пространственно несколько опережают таковые в донных отложениях, которые воспроизводят такие же тенденции, но с некоторым пространственным лагом ниже по течению.

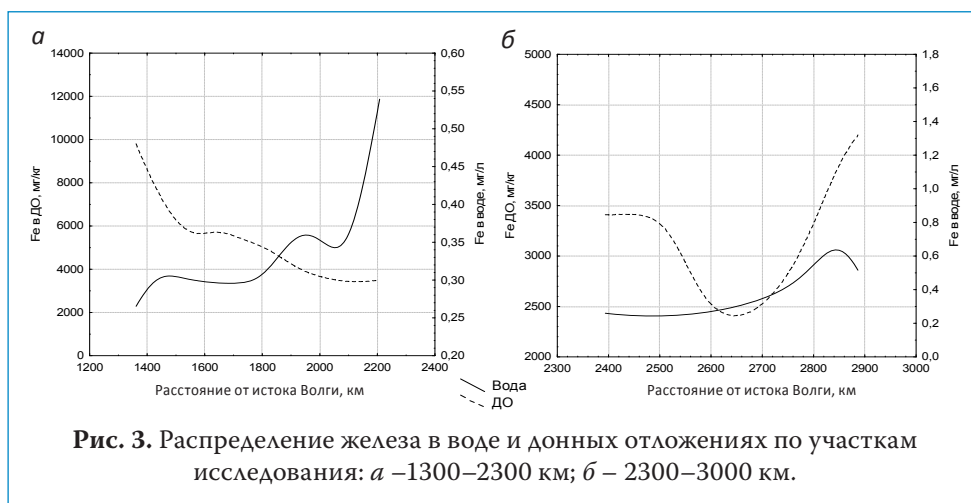
Выделяются несколько участков с различной динамикой содержания железа. На участке, расположенном в пределах 1300–1770 км, отмечены высокие уровни Fe как в воде, так и в ДО, однако наблюдается устойчивая тенденция к постепенному снижению концентраций (рис. 3а). Это участок преимущественно биологического самоочищения с вовлечением железа в биогеохимические циклы. На участке 1486–2150 км отмечен постепенный рост концентраций Fe в воде при одновременном снижении содержания в ДО (транзитный участок, пониженная сорбционная емкость ДО) (рис. 3а). На участке 2150–2390 км наблюдается резкое снижение концентрации железа в воде при одновременном его накоплении в ДО (типичный депонирующий участок). В русловой части Волги выделены транзитный (2390–2670 км) и депонирующий (2670–3000 км) участки (рис. 3б).

Таким образом, анализ уровней содержания железа по всей исследованной акватории Волги свидетельствует о чередовании различных типов его распределения в системе «вода – донные отложения» и позволяет пространственно их разграничить, что можно использовать при последующем эколого-гидрохимическом районировании.

Содержание меди в воде изменяется от 0,5 до 19 мкг/л (ПДК 0,001 мг/л), в ДО – от 1,5 до 27 мг/кг. При анализе ее распределения выделено несколько участков (рис. 4): транзитный участок 1300–1676 км, характеризующийся ростом концентраций Cu в воде и снижением ее содержания в ДО; участок 1676–2055 км с значительными расходами воды, вызывающими разбавление и перераспределение металла; депонирующий участок 2055–3000 км, на котором происходит активное отложение меди в ДО.

Содержание цинка в воде колеблется от 1 до 116,5 мкг/л (ПДК 0,01 мг/л), в ДО от 3,6 до 70 мг/кг (рис. 4). Концентрация Zn в воде и его содержание в ДО коррелируют на всей протяженности исследуемых участков реки ($r = 0,56$, $p = 0,004$), т. е. отмечается ярко выраженная параллельная динамика уровней его содержания. Выделяются три участка: 1300–1676 км, где содержание цинка в обоих объектах исследования постепенно снижается; 1676–2390 км, характеризующийся отсутствием какой-либо динамики; русловой участок ниже 2390 км с постепенным нарастанием содержания Zn как в воде, так и в ДО.

Содержание марганца в воде на участках исследования изменяется в пределах от 0,05 до 15 мкг/л (ПДК 0,01 мг/л), в ДО – от 18,3 до 890 мг/кг. Динамика содержания Mn также позволяет выделить в исследуемой акватории различные участки: 1300–2055 км, 2055–2625 км, 2625–3000 км (рис. 4).



Содержание никеля в воде на участках исследования варьирует в пределах от 0,05 до 32 мкг/л (ПДК 0,01 мг/л), в ДО – от 1,4 до 73,2 мг/кг. В распределении Ni в воде и ДО в зависимости от расстояния до устья Волги четко выделяются три участка: транзитный участок 1300–1580 км, участок разбавления и перераспределения 1580–2150 км, участок активного биологического самоочищения 2150–3000 км (рис. 4).

Содержание алюминия в воде изменяется от 10 до 68 мкг/л (ПДК 0,2 мг/л), в ДО – от 2,3 до 15,8 мг/кг. По динамике изменчивости содержания Al также выделяются несколько типов участков: депонирующий 1300–1865 км, транзитный 1865–2390 км и участок русла 2390–3000 км с постепенным нарастанием процессов биологического самоочищения (рис. 4). Процессы активного накопления Al в ДО отмечены на значительной протяженности волжских водохранилищ (~ 600 км).

Кадмий является типичным тяжелым металлом, токсичным, обладающим высокой степенью накопления в депонирующих компонентах водных экосистем. Содержание Cd в воде на участках исследования меняется в пределах от 0,00 до 1,93 мкг/л (ПДК 0,005 мг/л), в ДО – от 0,01 до 2,40 мг/кг (рис. 4). Четко выделяются три участка: транзитный 1300–1770 км, участок активного биологического самоочищения 1770–2390 км и депонирующий участок естественного русла реки ниже 2390 км.

Содержание хрома в воде на участках исследования изменяется в пределах от 0,04 до 0,80 мкг/л (ПДК 0,05 мг/л), в ДО – от 1,1 до 32,6 мг/кг (рис. 4). По распределению Cr также можно выделить три основных участка: транзитный 1300–1676 км, участок активного биологического самоочищения 1676–2390 км и депонирующий участок естественного русла реки ниже 2390 км.

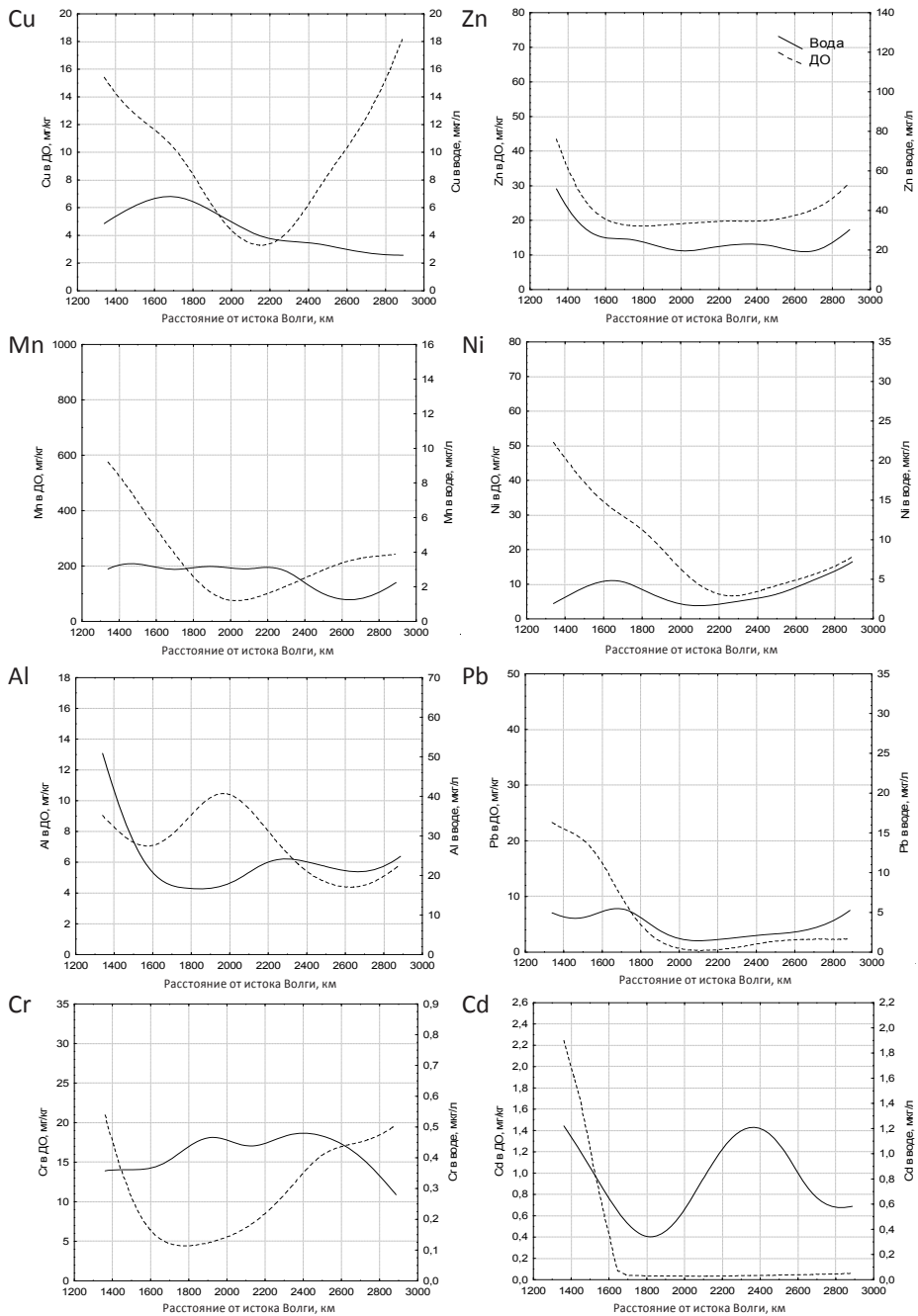


Рис. 4. Пространственное распределение металлов в воде и донных отложениях.

Важным маркером антропогенного воздействия на водные экосистемы, обладающим высокой токсичностью и ярко выраженным кумулятивным эффектом, является свинец. Концентрация свинца в воде Волги изменяется в пределах от 0,1 до 32 мкг/л (ПДК 0,006 мг/л), содержание в ДО – от 0,9 до 45,4 мг/кг (рис. 4). При анализе распределения Рb в воде и ДО следует отметить высокое содержание этого металла на транзитном участке реки 1300–1676 км. Выделяется также участок 1676–2055 км, где происходит практически двукратное снижение содержания Рb в воде и ДО. Расположенные ниже участки характеризуются низкими уровнями Рb как в воде, так и в ДО с небольшой тенденцией к росту по мере продвижения к дельте.

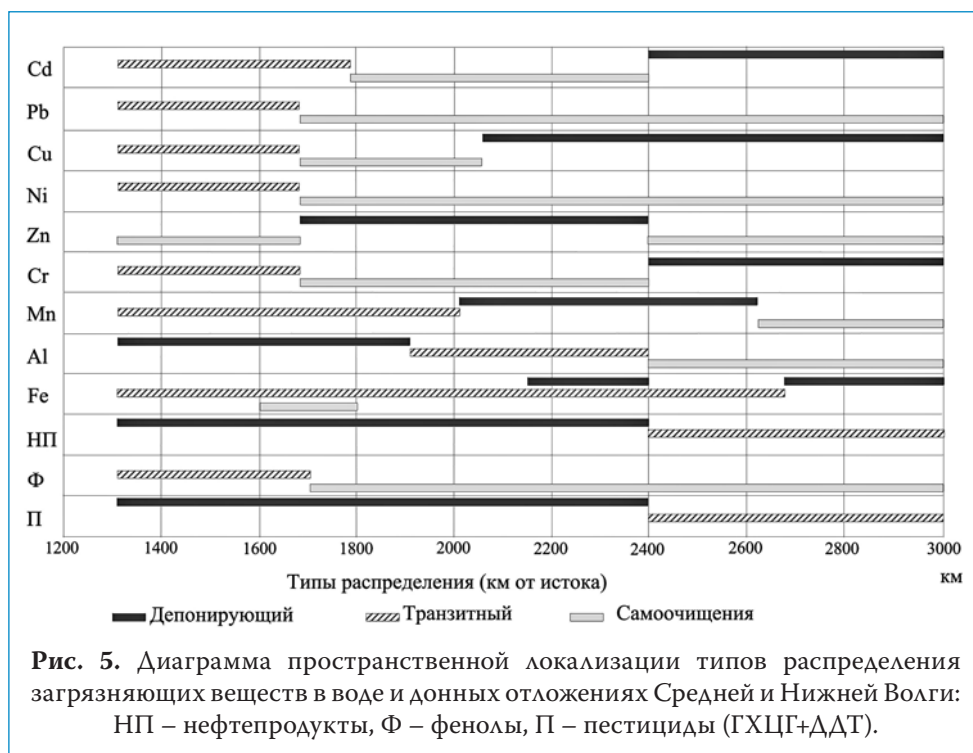
Обобщая полученные данные, можно представить характеристику трех основных типов пространственного распределения загрязняющих веществ в системе «вода – донные отложения» в каскаде водохранилищ Средней и Нижней Волги (рис. 5):

– транзитный тип. Характеризуется увеличением концентрации загрязняющих веществ в воде и снижением их содержания в ДО. Для рассматриваемой протяженности Волги это участок 1300–1676 км;

– депонирующий тип. Характеризуется накоплением загрязняющих веществ в ДО с параллельным снижением их концентраций в воде. Чаще всего представлен локальными зонами на глубоководных участках (плесах) водохранилищ, наиболее характерным является участок 2055–2390 км;

– тип активного или пассивного самоочищения. Характеризуется одновременным увеличением или снижением содержания загрязняющих веществ в воде и ДО, как правило, со статистически значимой положительной корреляцией их значений. Факторами, определяющими этот тип распределения, являются увеличение объема речного стока в условиях водохранилищ (пассивное самоочищение), его снижение на русловом незарегулированном участке Волги по мере приближения к устью за счет многочисленных рукавов, ериков и ответвлений, а также интенсивное развитие фито- и зоопланктона на расширениях и мелководных участках водохранилищ (активное самоочищение). Типичные участки: 1676–2055 км, 2390–3000 км.

Большинство из исследованных химических показателей качества воды и донных отложений продемонстрировали высокую вариабельность значений, на изменчивость которых оказывает влияние множество факторов. Поэтому необходимым условием для эколого-гидрологического районирования исследованной акватории является факторный анализ, способный выделить из всего многообразия аналитических параметров репрезентативные показатели, изменчивость которых является наиболее характерным признаком того или иного участка.



Подбор репрезентативных показателей выполнен методом главных компонент на программном комплексе «Statistica» v.6.0, число факторов выделяли по критерию Кэттеля, использовали метод вращения «Varimaxnormalized», значимыми считались факторные нагрузки $> 0,7$.

Факторные нагрузки, отражающие вклад каждого показателя, представлены в таблице (указаны только переменные, вошедшие в выделенные факторы). В результате, выделено два ортогональных фактора, наиболее полно характеризующих всю изменчивость аналитической выборки и являющихся совокупностью переменных с факторными нагрузками $> 0,7$ (таблица).

Фактор состояния воды (фактор 1), куда вошли переменные, характеризующие участки исследования по содержанию загрязняющих веществ в воде, а именно – концентрации меди, никеля и хрома. Фактор состояния донных отложений (фактор 2) составили переменные, характеризующие участки исследования по содержанию загрязняющих веществ в ДО – железа, марганца, кадмия и нефтепродуктов.

Эти показатели рекомендуется, в первую очередь, учитывать при экологической оценке состояния различных участков р. Волги в ее среднем и нижнем течении.

Таблица. Факторные нагрузки анализируемых параметров

Переменные	Фактор 1	Фактор 2
Вода		
Cu	0,757848	0,061942
Ni	-0,704285	0,014740
Cr	0,772238	-0,024419
Донные отложения		
Cd	0,075315	0,818284
Mn	-0,019409	0,766814
Fe	0,222281	0,703866
Нефтепродукты	0,028564	0,751075

Примечание: полужирным выделены значимые факторные нагрузки > 0,7.

ВЫВОДЫ

Проведенный в представленном исследовании сопряженный анализ содержания органических (нефтепродукты, фенолы, пестициды) и неорганических (металлы) загрязняющих веществ и их соотношения в воде и донных отложениях Средней и Нижней Волги свидетельствует о сложной картине пространственного распределения поллютантов как в каскаде водохранилищ, так и на незарегулированном участке нижнего течения. Для нижних плесов Куйбышевского водохранилища характерен преимущественно «транзитный» тип распределения металлов (за исключением Zn и Al), при котором наблюдаются повышенные их концентрации в воде на фоне отсутствия роста содержания в ДО. Участки самоочищения выявлены в акватории Саратовского и Волгоградского водохранилищ, а депонирующие зоны в основном характерны для нижнего течения Волги, где наблюдается аккумуляция металлов в ДО и снижение их концентраций в воде. При экологической оценке состояния различных участков Волги в ее среднем и нижнем течении наиболее информативными являются показатели содержания в воде меди, никеля и хрома, а также железа, марганца, кадмия и нефтепродуктов в ДО.

Основная доля нефтепродуктов, поступающих в Волгу из различных антропогенных источников, депонируется в донных отложениях Куйбышевского, Саратовского и Волгоградского водохранилищ благодаря механизмам сорбции и последующей седиментации на тонкодисперсных органо-минеральных взвесах и высокой аккумулярующей способности глинисто-илистых отложений плесовых расширений. Значительная часть

углерода выводится из техногенных геохимических циклов миграции по седиментационному механизму, что отражается на снижении концентраций нефтепродуктов в воде на русловом отрезке Волги ниже г. Волгограда.

Для пестицидов (ГХЦГ и ДДТ) депонирующий тип распределения в экосистемах волжских водохранилищ также является преобладающим: основные их количества сосредоточены в ДО. На участке ниже Волгограда возрастает миграция пестицидов в воде вследствие их широкого применения в сельскохозяйственном производстве регионов Нижней Волги. В отношении фенольных соединений основная часть акватории реки характеризовалась зоной активного самоочищения.

Таким образом, относительно простая процедура оценки пространственного распределения загрязняющих веществ в системе «вода – донные отложения» позволяет объективно формализовать огромные и разнообразные по гидрологическим особенностям территории, что является нетривиальной задачей при разработке эффективных систем контроля и принятия решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Валиев В.С., Мавляутдинова Г.С., Гареев Р.Х., Фасхутдинов М.Г.* Ситуационный анализ на базе консолидированной информации систем государственного мониторинга // Геоинформатика. 2010. № 3. С. 6–7.
2. *Мавляутдинова Г.С., Валиев В.С., Фасхутдинов М.Г.* Прикладная модель экспертной оценки эколого-гидрологической системы // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2012. № 8 (56). С. 48–57.
3. *Трофимов А.М.* Методика пространственного анализа и выделения специфических районов, кризисных и критических областей и зон риска // Мониторинг. 1997. № 3. С. 21–25.
4. *Даувальтер В.А.* Оценка экологического состояния поверхностных вод по результатам исследований химического состава донных отложений. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2006. 35 с.
5. *Ларина Н.С., Шелпакова Н.А., Ларин С.И., Дунаева А.П.* Оценка химико-экологического состояния водоемов по результатам анализа вод и донных отложений // Успехи современного естествознания. 2008. № 7. С. 56–58.
6. *Мур Дж.В., Рамамурти С.* Тяжелые металлы в природных водах. М.: Мир, 1987. 140 с.
7. *Хажеева З.И., Пронин Н.М., Раднаева Л.Д.* Особенности накопления тяжелых металлов в воде, донных отложениях и биоте залива Черкалов сор оз. Байкал // Химия в интересах устойчивого развития. 2005. № 13. С. 95–102.
8. *Никаноров А.М., Жулидов А.В.* Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 310 с.
9. *Папина Т.С.* Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в ряду «вода – взвешенные вещества – донные отложения» речных экосистем // Аналит. обзор речных экосистем. Сер. Экология. Новосибирск: Изд-во ГПНТБ СО РАН, 2001. Вып. 62. 58 с.

Сведения об авторах:

Валиев Всеволод Сергеевич, старший научный сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования ГНБУ «Академия наук Республики Татарстан» (ИПЭН АН РТ), Россия, 420087, г. Казань, ул. Даурская, 28; e-mail: water-rf@mail.ru

Иванов Дмитрий Владимирович, канд. биол. наук, заместитель директора по научной работе, Институт проблем экологии и недропользования ГНБУ «Академия наук Республики Татарстан» (ИПЭН АН РТ), Россия, 420087, г. Казань, ул. Даурская, 28; e-mail: water-rf@mail.ru

Шагидуллин Рифгат Роальдович, д-р хим. наук, директор, Институт проблем экологии и недропользования ГНБУ «Академия наук Республики Татарстан» (ИПЭН АН РТ), Россия, 420087, г. Казань, ул. Даурская, 28; e-mail: shagidullin@mail.ru

Зиганшин Ирек Ильгизарович, канд. геогр. наук, старший научный сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования ГНБУ «Академия наук Республики Татарстан» (ИПЭН АН РТ), 420087, г. Казань, ул. Даурская, 28; e-mail: Irek.Ziganshin@tatar.ru

Шамаев Денис Евгеньевич, младший научный сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования ГНБУ «Академия наук Республики Татарстан» (ИПЭН АН РТ), Россия, 420087, г. Казань, ул. Даурская, 28; e-mail: water-rf@mail.ru

Хасанов Рустам Равилевич, младший научный сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования ГНБУ «Академия наук Республики Татарстан» (ИПЭН АН РТ), Россия, 420087, г. Казань, ул. Даурская, 28; e-mail: rustamkhasanov88@gmail.com