

# НОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ в донных отложениях ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

**Проведены анализ, систематизация и обобщение информации по проблеме нормирования химических веществ (пестициды, промышленные ингредиенты) в донных отложениях водных экосистем, загрязняемых различными путями. Сделано заключение о возможности решения данной проблемы с использованием геохимических и биогеохимических критериев нормирования как основы разработки предельно допустимых концентраций веществ в донных отложениях.**

## Введение

**Д**онные отложения (ДО) представляют собой неотъемлемую составляющую водных экосистем и важнейший фактор процесса формирования качества водной массы в них. По уровню загрязнения ДО различными химическими веществами, такими, как пестициды и промышленные ингредиенты, можно составить объективное представление о состоянии водных экосистем, подверженных антропогенному воздействию. Известно, что состояние водных экосистем может ухудшаться в связи с тем, что ДО, аккумулировавшие химические вещества, при определенных условиях становятся источником вторичного загрязнения водной массы. Объективный контроль загрязнения ДО можно осуществлять только при наличии экспериментально обоснованного санитарно-гигиенического норматива отдельного вещества в виде его предельно допустимой концентрации (ПДК). Под последним понимается концентрация вещества в ДО, которая при повседневном влиянии в течение длительного времени не оказывает негативного воздействия на организм человека при попадании в него тем или иным путем. Располагая подобным средством санитарно-гигиенического контроля можно не только судить о состоянии водных экосистем, но и прогнозировать его ухудшение вследствие вторичного загрязнения водной массы химическими веществами из ДО. Однако сани-

**Р.В. Галиулин\***,

доктор географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории функциональной экологии, Учреждение Российской академии наук Институт фундаментальных проблем биологии РАН (ИФПБ РАН)

**Р.А. Галиулина,**

научный сотрудник лаборатории функциональной экологии, Учреждение Российской академии наук Институт фундаментальных проблем биологии РАН (ИФПБ РАН)



тарно-гигиенические нормативы для ДО в нашей стране до сих пор отсутствуют даже на приоритетные химические вещества [1-4]. В этой связи закономерно возникают два вопроса. 1) С помощью каких критериев в настоящее время оценивается загрязнение ДО химическими веществами? 2) Каковы перспективы решения проблемы нормирования химических веществ в ДО?

Поэтому цель данной работы состояла в анализе, систематизации и обобщении информации по проблеме нормирования химических веществ (пестициды, промышленные ингредиенты) в ДО водных экосистем, загрязняемых различными путями, для ответа на выше поставленные вопросы.

## Результаты и их обсуждение

**О**собенности загрязнения донных отложений водных экосистем химическими веществами

Загрязнение водных экосистем и, следовательно, их неотъемлемой составляющей – ДО, химическими веществами происходит

\* Адрес для корреспонденции: [galiulin-rauf@rambler.ru](mailto:galiulin-rauf@rambler.ru)

различными путями – поверхностным и грунтовым стоком из загрязненных территорий, промышленными сточными водами и т.д. Так, например, оросительная вода с полей увлекает с собой частицы поверхностного слоя почвы с адсорбированными пестицидами и их последующее переотложение обуславливает попадание веществ в ДО водных экосистем. Наблюдения за накоплением таких стойких хлорорганических пестицидов, как ДДТ (дихлордифенилтрихлорметилметан) и ГХЦГ (гексахлорциклогексан) в ДО Азовского моря показали, что их содержание повторяет среднегодовой показатель в воде с отставанием на один год (рис. 1) [5].

При этом амплитуда колебаний среднегодовых величин содержания пестицидов в ДО была меньше по сравнению с их концентрацией в воде, что связано с многократным взмучиванием и переосаждением поверхностных слоев ДО. Одной из характерных особенностей пространственного распределения пестицидов в ДО Азовского моря является наличие локальных участков с более высоким содержанием веществ по сравнению с их средними значениями, что обычно приурочено к местам впадения рек, несущих химические вещества в растворенном виде, адсорбированными на взвешах и в коллоидальных формах.

Что касается таких промышленных ингредиентов, как ПХБ (полихлорбифенилы), также относящихся к стойким хлорорганическим соединениям, широко применявшихся в прошлом в качестве диэлектриков, теплоносителей,

**Ключевые слова:**

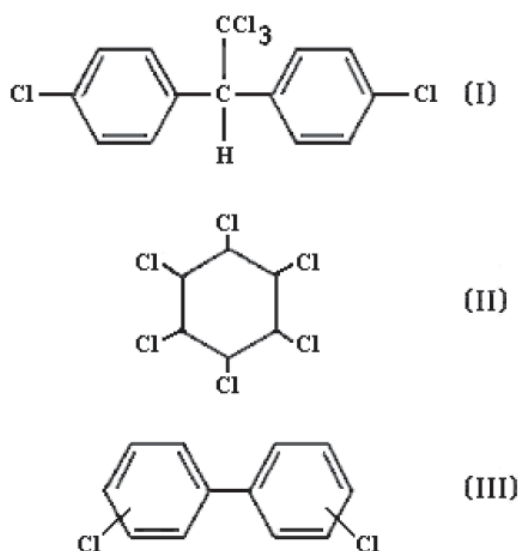
водные экосистемы, донные отложения, химические вещества, нормирование, геохимические и биогеохимические критерии, предельно допустимая концентрация

лей, гидравлических жидкостей, пластификаторов, наполнителей пестицидных препаратов и т.д., то их массивное поступление в водные экосистемы сточными водами и другими путями привело к тому, что загрязненность ими ДО оказалась существенно больше, чем ДДТ и ГХЦГ. Другие промышленные ингредиенты – тяжелые металлы (более 40 химических элементов с атомной единицей массы >50), могут поступать в водные экосистемы стоками с так называемых техногенных образований (отвалы и терриконы забалансовых руд, минерализованных пород, шлако- и золотвалы и др.), имеющих в бассейнах рек, а также непосредственно со сточными водами предприятий черной и цветной металлургии и т.д. Кроме того, разнообразные труднорастворимые соединения тяжелых металлов, минеральные и органические сорбенты, включающие металлы, а также субстраты, покрытые тонкой пленкой, содержащие эти вещества, под действием сил гравитации поступают из водной толщи в ДО [6].

*Донные отложения как источник вторичного загрязнения водной массы химическими веществами*

Вторичное загрязнение водной массы посредством десорбции, например, пестицидов, из ДО обычно происходит при соотношении содержания веществ в ДО и воде >1. Так, наиболее вероятной причиной недавнего загрязнения воды р. Чапаевка (в 1 км ниже г. Чапаевск, Самарская область) ГХЦГ в количествах от 5 до 20 ПДК согласно [7], явилось вымывание данного вещества из ДО, загрязненных за годы функционирования завода по производству стойких хлорорганических пестицидов [8]. Десорбция в воду поглощенных пестицидов из ДО не исключается и при резком изменении кислотности (рН) или возрастании температуры водной массы. Это становится возможным при попадании в водные объекты промышленных сточных вод с экстремальными значениями рН (сильнокислые, сильнощелочные) или с относительно высокой температурой при их сбросе из тепловых или атомных электростанций.

Вторичное загрязнение водной массы химическими веществами, в том числе и тяжелыми металлами, может происходить, например, за счет взмучивания ДО во время штормов, при драгировании, т.е. изъятии ДО при дноуглубительных работах и т.д. [6]. Другими факторами, способствующими загрязнению воды тяжелыми металлами из ДО, являются снижение значений рН и окислительно-восстановительного потенциала (Eh) на границе раздела фаз “ДО – вода”,



**Рис. 1.** Стойкие хлорорганические соединения. Пестициды: I – ДДТ (дихлордифенилтрихлорметилметан); II – ГХЦГ (гексахлорциклогексан). Промышленные ингредиенты: III – ПХБ (полихлорбифенилы – моно-, ди-, три-, тетра-, пента-, гекса-, гепта-, окта-, нона-, декахлорбифенил)

создание дефицита растворенного кислорода в водной толще и в самих ДО и т.д. [9].

*Донные отложения, загрязненные химическими веществами, как фактор негативного воздействия на ихтиофауну*

Накопление таких стойких хлорорганических соединений, как ДДТ, ГХЦГ и ПХБ в ДО представляет немалую опасность для рыб-бентофагов, т.е. рыб, питающихся организмами, живущими на дне водоема или опускающихся на дно в поисках пищи. Так, кумулятивным эффектом ДДТ и ГХЦГ можно объяснить патологические изменения в печени камбалы (вакуолизация гепатоцитов, воспалительная реакция в виде скопления лимфоцитов и т.д.), выловленной в Амурском заливе (залив Петра Великого, Японское море), а также высокую степень поражения поперечно-полосатой мышечной ткани у осетровых рыб (истончение мышечных волокон, появление лизирующих миофибрилл и т.д.) в западных побережьях средней и южной части Каспийского моря, а также на предустьевых пространствах рек Кура и Терек [10, 11]. Как известно, кумулятивный эффект связан с накоплением химических веществ в организме при многократном поступлении относительно небольших их количеств, приводящих в результате к различного рода патологиям. Так, для самок осетровых рыб Азовского моря с относительно высоким содержанием ДДТ, ГХЦГ и ПХБ в их тканях были характерны следующие признаки патологии: изменения параметров детоксикационной системы печени и содержания белка во всех тканях, асинхронность созревания ооцитов и т.д. [12].

Кроме того, в икре осетров с патологией внутренних органов было найдено повышенное содержание свинца.

Стойкие хлорорганические соединения в рыбе и других гидробионтах передаются по трофической цепи к человеку как потребителю рыбной и нерыбной продукции речного и морского промысла, накапливаются в его организме, вызывая патологию крови и печени, увеличивая частоту злокачественных новообразований и т. д. Так, наибольшее содержание ПХБ было обнаружено в крови людей, потреблявших рыбу из оз. Мичиган (США), а значительно меньшее – у людей, потреблявших рыбу из оз. Гурон и оз. Эри (США – Канада), что объясняется относительно низким загрязнением этих водных объектов, входящих в систему Великих озер [13]. В работе [8] отмечен факт, что ~80 % женщин, больных раком молочной железы, питались рыбой, выловленной в водоемах, близко расположенных к вышеупомянутому заводу по производству в прошлом стойких хлорорганических пестицидов в г. Чапаевск. При такой неблагоприятной гидроэкологической ситуации, связанной с загрязнением ДО, становится крайне необходимым осуществление санитарно-гигиенического контроля за состоянием водных экосистем с помощью определенных критериев нормирования химических веществ.

*Нормирование химических веществ в донных отложениях водных экосистем*

Анализ литературы показал, что в настоящее время для оценки загрязненности ДО водных экосистем химическими веществами, т.е.







для их нормирования, используются два типа критериев – геохимические и биогеохимические. Так, в исследованиях [14] для оценки загрязнения тяжелыми металлами ДО верховья р. Волга (от истока реки до впадения в Иваньковское водохранилище, Тверская область) применялся такой геохимический критерий нормирования, как показатель накопления, характеризующий превышение содержания вещества по сравнению с его фоновым количеством. В другой работе этих авторов [15], проведенной на оз. Селигер (Тверская и Новгородская области), использовался коэффициент концентрации как отношение содержания тяжелых металлов в ДО к количеству веществ в подстилающих породах. По [16] уровень загрязнения ДО юго-восточного района Азовского моря тяжелыми металлами оценивался путем сравнения их средних концентраций с количествами в земной коре. В исследованиях [17] на примере верхней (Иваньковское водохранилище) и нижней Волги (от г. Волгоград до устьевоего взморья) степень загрязнения ДО тяжелыми металлами оценивалась с помощью коэффициента накопления как отношение содержания вещества в ДО к его концентрации в воде. В работе [18] изучалась информативность и уточнялась возможность использования так называемого коэффициента донной аккумуляции в качестве индикатора состояния водных экосистем и оценки их хронического загрязнения по данным о накоплении пестицидов, тяжелых металлов и других химических веществ. Коэффициент донной аккумуляции, как и коэффициент накопления в предыдущей работе [17], представлял собой отношение содержания вещества в ДО к его

концентрации в воде. Авторами сделан вывод о том, что информативность коэффициента донной аккумуляции может существенно возрасти при наличии гидробиологических и токсикологических сведений, характеризующих состояние исследуемых водных объектов.

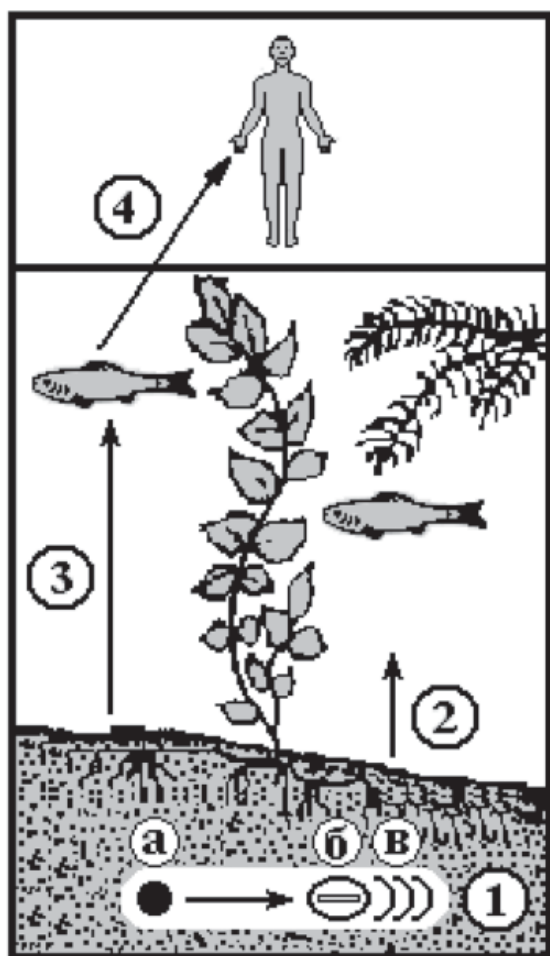
Исходя из вышеприведенного определения ПДК для ДО как средства санитарно-гигиенического контроля негативного воздействия химического вещества на человека в условиях водной экосистемы, рассмотренные геохимические критерии нормирования явно недостаточны для осуществления такого рода контроля. В этой связи прогрессом в разработке санитарно-гигиенических нормативов химических веществ в ДО, в виде предельно допустимого уровня содержания отдельного вещества (ПДУ), явилась работа [19], проведенная на Куйбышевском водохранилище (р. Волга) с использованием геохимического и биогеохимического критериев. Для различных стойких хлорорганических пестицидов, тяжелых металлов и других веществ были разработаны их ПДУ для ДО на основе двух показателей вредности – водно-миграционного и ихтио-транслокационного. Первый показатель характеризует переход химического вещества из ДО в воду, а второй – его переход из воды в рыбу и накопление в ней. Однако осуществление полноценного нормирования химических веществ в ДО водных экосистем невозможно без 1) общесанитарного показателя вредности, характеризующего изменение численности микроорганизмов и их ферментативной активности в ДО под воздействием веществ; 2) органолептического показателя вредности, характеризующего изменение запаха, наличие привкуса и пищевой ценности рыбной продукции под воздействием веществ (рис. 2).

Необходимость первого показателя вызвана тем, что, например, по повышению численности микроорганизмов и их ферментативной активности можно судить о снижении токсического действия или обезвреживании химических веществ в ДО, происходящих естественным путем.

Как обычно принято при санитарно-гигиеническом нормировании, в результате экспериментального обоснования пороговых концентраций конкретного химического вещества по четырем показателям вредности (общесанитарному, водно-миграционному, ихтио-транслокационному, органолептическому), из них избирают в качестве лимитирующего показателя вредности тот, который имеет наименьшую пороговую величину, что в результате будет представлять собой ПДК данного вещества в ДО водных экосистем

## Заключение

Таким образом, необходимость решения проблемы нормирования химических веществ в ДО, как неотъемлемой массы водных экосистем, давно уже назрела. Это диктуется особенностями загрязнения ДО химическими веществами, их представлением как источника вторичного загрязнения водной составляющей, а также негативным воздействием на ихтиофауну, а следовательно, и на человека через пищевые цепи. Данную проблему представляется возможным решить путем использования геохимических и биоге-



**Рис. 2.** Показатели вредности для установления предельно допустимой концентрации химического вещества в донных отложениях водных экосистем.

1 – общесанитарный показатель, характеризующий изменение численности микроорганизмов и их ферментативной активности в донных отложениях под действием вещества (а – вещество, б – микробная клетка, в – ферментативная активность); 2 – водно-миграционный показатель, характеризующий переход вещества из донных отложений в воду; 3 – ихтио-транслокационный показатель, характеризующий переход вещества из воды в рыбу и его накопление; 4 – органолептический показатель, характеризующий изменение запаха, наличие привкуса и пищевой ценности рыбной продукции под воздействием вещества

охимических критериев нормирования, т.е. посредством четырех показателей вредности химических веществ (общесанитарному, водно-миграционному, ихтио-транслокационному, органолептическому), лежащих в основе разработки ПДК веществ в ДО. Это даст возможность объективно судить о риске загрязненных ДО для водных экосистем и предпринимать при необходимости соответствующие профилактические меры. К числу последних относится осуществление систематического санитарно-гигиенического контроля содержания приоритетных химических веществ в водных экосистемах с оповещением местного населения о неблагоприятной гидроэкологической ситуации, особенно в условиях использования водных объектов для хозяйственно-питьевых и рекреационных целей или рыбной ловли.

## Литература

1. Томилина И.И. Донные отложения как объект токсикологических исследований (обзор) / И.И. Томилина, В.Т. Комов // Биология внутренних вод. 2002. № 2. С. 20-26.
2. Кленкин А.А. Современная характеристика донных отложений Азовского моря по степени загрязненности комплексом наиболее опасных токсикантов / А.А. Кленкин, Л.Ф. Павленко, И.Г. Корпакова, Е.И. Студеникина // Водные ресурсы. 2008. Т. 35. № 1. С. 88-92.
3. Соловых Г.Н. Мониторинг содержания металлов в донных отложениях рек центрального региона Оренбургской области / Г.Н. Соловых, Л.В. Голинская, Н.В. Шустова // Гигиена и санитария. 2009. № 6. С. 71-74.
4. Жаковская З.А. Полихлорированные бифенилы и углеводороды в донных отложениях рек бассейна р. Печора / З.А. Жаковская, В.Н. Петрова, Л.О. Хорошко, Г.И. Кухарева, А.А. Лукин // Водные ресурсы. 2010. Т. 37. № 1. С. 75-83.
5. Семенов А.Д. Проблемы загрязнения Азовского моря пестицидами // Экологический вестник России. 2005. № 12. С. 55-60.
6. Нахшина Е.П. Тяжелые металлы в системе «вода – донные отложения» водоемов (обзор) // Гидробиологический журнал. 1985. Т. 21. № 2. С. 80-90.
7. Ованесянц А.М. О загрязнении природной среды и радиационной обстановке на территории Российской Федерации в октябре 2008 г. / А.М. Ованесянц, Т.А. Красильникова, А.Б. Иванов // Метеорология и гидрология. 2009. № 1. С. 101-108.
8. Ревич Б.А. Рак молочной железы в Чапаевске / Б.А. Ревич, Т.И. Ушакова, О.В.

- Сергеев, В.Ю. Зейлерт // Гигиена и санитария. 2005. № 1. С. 18-21.
9. Линник П.Н. Донные отложения водоемов как потенциальный источник вторичного загрязнения водной среды соединениями тяжелых металлов // Гидробиологический журнал. 1999. Т. 35. № 2. С. 97-109.
10. Вашенко М.А. ДДТ и гексахлорциклопексан в донных осадках и печени камбалы *Pleuronectes pinnifasciatus* из Амурского залива (залив Петра Великого, Японское море) / М.А. Вашенко, И.Г. Сяпина, П.М. Жадан // Экология. 2005. № 1. С. 64-68.
11. Алтуфьев Ю.В. Мониторинг морфофункционального состояния мышечной ткани осетровых и костистых рыб Каспия / Ю.В. Алтуфьев, П.П. Гераскин // Проблемы региональной экологии. 2003. № 6. С. 111-124.
12. Кленкин А.А. Загрязнение приоритетными токсикантами промысловых рыб юго-восточной части Азовского моря / А.А. Кленкин, И.Г. Корпакова // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2007. № 9. С. 39-46.
13. Можаяев Е.А. Влияние загрязнения Великих озер химическими веществами на потребителей рыбы (обзор) / Е.А. Можаяев, Ю.А. Рахманин // Гигиена и санитария. 2001. № 1. С. 71-72.
14. 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. Т. 28. № 4. С. 448-453.
15. Косов В.И. Исследование распределения тяжелых металлов в донных отложениях оз. Селигер / В.И. Косов, И.В. Косова, В.В. Левинский, Г.Н. Иванов, А.И. Хильченко // Водные ресурсы. 2004. Т. 31. № 1. С. 51-59.
16. Кленкин А.А. Загрязненность юго-восточного района Азовского моря тяжелыми металлами и синтетическими поверхностно-активными веществами / А.А. Кленкин, И.В. Кораблина, И.Г. Корпакова // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2007. № 10. С. 41-48.
17. Бреховских В.Ф. Тяжелые металлы в донных отложениях верхней и нижней Волги / В.Ф. Бреховских, З.В. Волкова, Д.Н. Катунин, В.Д. Казмирук, Т.Н. Казмирук, Е.В. Островская // Водные ресурсы. 2002. Т. 29. № 5. С. 587-595.
18. Никаноров А.М. Хроническое загрязнение пресноводных объектов по данным о накоплении пестицидов, нефтепродуктов и других токсичных веществ в донных отложениях / А.М. Никаноров, А.Г. Страдомская // Водные ресурсы. 2007. Т. 34. № 3. С. 337-344.
19. Степанова Н.Ю. Экологическое нормирование содержания загрязняющих веществ в донных отложениях / Н.Ю. Степанова, В.З. Латыпова, О.К. Анохина // Проблемы региональной экологии. 2007. № 4. С. 42-49.



R.V. Galiulin, R.A. Galiulina

## CHEMICAL SUBSTANCE RATIONING IN BOTTOM SEDIMENTS OF WATER ECOSYSTEMS

The analysis, systematization and generalization of information concerning rationing of chemical substances (pesticides, industrial ingredients) in bottom sediments of water ecosystems polluted by different

ways have been carried out. There has been made a conclusion on the basis of geochemical and biogeochemical criteria of rationing with determination of maximum permissible concentrations of substances in bottom sediments.

**Key words:** water ecosystems, bottom sediments, chemical substances, rationing, geochemical and biogeochemical criteria, maximum permissible concentration

