
ТОКСИЧНОСТЬ СРЕДЫ В ОТНОШЕНИИ ГИДРОБИОНТОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Н.Ю. Степанова, В.З. Латыпова, А.А. Алексеев

Казанский государственный университет
им. В.И. Ульянова-Ленина
ул. Кремлевская, 18, Казань, Россия, 420008

В экспериментах по моделированию внесения различных доз сырой нефти на уровне ее предельной растворимости в воде показано, что на процесс распределения различных фракций углеводородов между водной фазой и донными отложениями значительное влияние оказывают сорбционные свойства донных отложений. С увеличением сорбционной способности грунтов происходит повышение содержания различных фракций углеводородов в донных отложениях, что отражается на снижении токсичности воды для гидробионтов (*Paramecium caudatum* и *Chironomus riparius*). Большую токсикогенную угрозу для планктонных и бентосных организмов представляет поступление сырой нефти при авариях на нефтепроводах в водные системы с песчанистыми донными отложениями, нежели с илистыми.

Введение. Одним из важных механизмов самоочищения водных экосистем является процесс седиментации с последующим депонированием токсикантов в донных отложениях. Степень удержания загрязняющих веществ зависит от сорбционных свойств грунта. Ранее было показано, что песчанистые донные отложения представляют повышенную опасность при ремобилизации металлов и увеличения их токсического воздействия на гидробионты [1; 2]. Однако в отношении токсикантов органического происхождения, таких, как нефтепродукты, отсутствует ясность в вопросе их перераспределения в системе вода — донные отложения. Актуальность вопросу изучения перераспределения углеводородов нефти в абиотических компонентах водной экосистемы, токсичности их остаточного содержания придает то обстоятельство, что нефтепродукты относятся к приоритетным загрязняющим веществам антропогенного происхождения в связи с большим вкладом нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей промышленности в экономику Республики Татарстан.

Цель работы — экспериментальная оценка токсического воздействия различных фракций углеводородов на гидробионты при внесении различающихся доз сырой нефти в систему вода — донные отложения.

Материалы и методы. Для лабораторных экспериментов с дозированным внесением сырой нефти, были использованы два типа донных отложений, отобранных в соответствии с нормативными документами (ГОСТ 17.1.5.01-80) на фоновых участках Куйбышевского водохранилища: песчанистые и илисто-глинистые грунты, характеризующиеся различными сорбционными свойствами (табл. 1), оцениваемыми по содержанию органических веществ (потери при прокаливании) и крупной пелитовой фракции.

В каждый сосуд, содержащий 1,5 л биологизированной воды и донные отложения соответствующего типа (соотношение донные отложения — вода 1 : 10),

добавляли сырую нефть в концентрациях 0,1 г/л; 0,5 г/л и 1,0 г/л. После встряхивания на ротаторе (15 час.), отстаивания (12 час.) в темном месте для распределения нефтепродуктов между фазами, определяли содержание различных фракций углеводородов (алифатических, полициклических, суммарное содержание смол и асфальтенов) в образцах воды и донных отложений по рекомендованным для целей мониторинга методикам [4; 5; 6]. Токсичность проб воды и донных отложений исследовали в хроническом эксперименте на инфузориях *Paramecium caudatum* [7] и *Chironomus riparius* [8]. Водные вытяжки из донных отложений для оценки токсичности на инфузориях готовили путем экстракции образца биологизированной водой в соотношении 1 : 4 в течение 8 часов на ротаторе с последующим декантированием и тонкой фильтрацией. Критерием токсичности было ингибирование скорости деления инфузорий при экспозиции 24 часа.

Таблица 1

Физико-химические характеристики донных отложений, использованных в модельном эксперименте

Тип донных отложений	Содержание органических веществ, %	Содержание песка, %	Содержание глинистых веществ, %	Содержание углеводородов, мг/кг		
				алифатические	полициклические	смолы и асфальтены
Илистые	18,3	16,5	15,5	13,32	25,90	1,08
Песчанистые	0,04	94,5	0	5,28	4,68	0,30

Обработку полученных результатов проводили с помощью программы Statistica 6,0 [9].

Результаты и их обсуждение. *Распределение нефтепродуктов между водой и донными отложениями в модельном эксперименте.* Для выявления закономерностей и накопления исследуемых фракций нефти в донных отложениях различных типов был проведен модельный эксперимент с внесением в систему вода — грунт добавок нефти 0,1; 0,5 и 1,0 г/л.

Как показывают результаты экспериментов (рис. 1—4), при внесении в систему вода — донные отложения сырой нефти в концентрации 0,5 и 1,0 г/л как песчанистые, так и илистые грунты теряют сорбционную способность в отношении углеводородов нефти, которые преимущественно переходили в водную фазу, образуя на поверхности воды пленку.

В этой связи для исследования перераспределения углеводородов между водной и твердой фазами на следующем этапе в модельном эксперименте уменьшили добавку нефти до 14, 24 и 42 мг/л. При увеличении дозы внесения сырой нефти в систему вода — песчанистые донные отложения наблюдался рост содержания всех исследуемых фракций нефти в водной фазе (табл. 2). В соответствующих опытах с илистым грунтом значительного увеличения содержания углеводородов в воде не отмечено, что согласуется с большей сорбционной способностью данного типа донных отложений. Действительно, с увеличением дозы внесения сырой нефти в указанном диапазоне наблюдается повышение содержания всех фракций нефти в илистых донных отложениях и снижение их выхода в водную фазу.

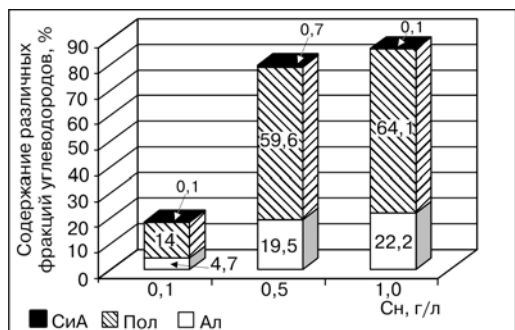


Рис. 1. Соотношение различных фракций углеводородов в воде при различных дозах внесения сырой нефти (СН) в систему вода — песчанистые донные отложения

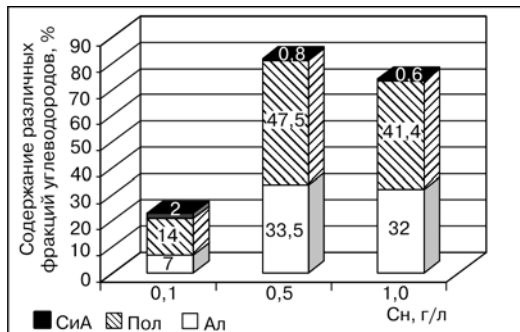


Рис. 2. Соотношение различных фракций углеводородов в водной среде при различных дозах внесения сырой нефти в систему вода — илистые донные отложения

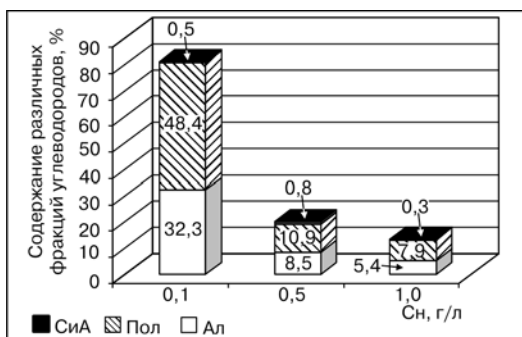


Рис. 3. Соотношение различных фракций углеводородов в донных отложениях при различных дозах внесения сырой нефти в систему вода — песчанистые донные отложения

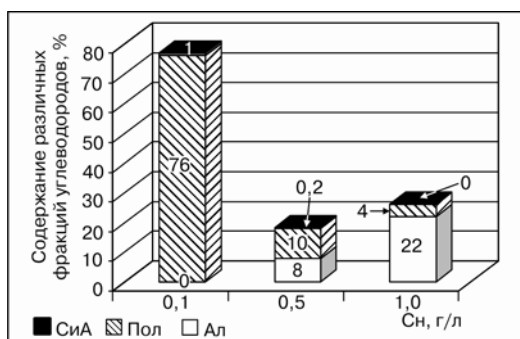


Рис. 4. Соотношение различных фракций углеводородов в донных отложениях при различных дозах внесения сырой нефти в систему вода — илистые донные отложения

Таблица 2

Содержание различных фракций углеводородов в водной фракции (мг/л) и донных отложениях (мг/кг) при различных дозах внесения сырой нефти в систему вода — донные отложения

Доза внесения, мг/л	Содержание алифатических углеводородов		Содержание полициклических углеводородов		Содержание смол и асфальтенов	
	1	2	1	2	1	2
Водная фракция						
14	0,28	0,16	0,29	0,16	0,01	0,02
28	0,42	0,28	0,60	0,22	0,05	0,03
42	0,79	0,29	1,64	0,38	0,26	0,03
Донные отложения						
14	16,2	36,0	2,76	7,7	0,56	1,06
28	21,5	46,4	8,62	25,9	0,60	6,34
42	27,0	100,3	11,37	60,8	0,11	7,32

Примечание. 1 — система вода — песчанистые донные отложения; 2 — система вода — илистые донные отложения.

Определение токсичности воды и донных отложений в отношении гидробионтов в модельном эксперименте. Результаты экспериментов свидетельствуют о значительно более высокой токсичности в отношении инфузорий водной фазы

над песчанистыми донными отложениями, нежели над илистыми во всех вариантах опыта (рис. 5). Поскольку токсичность для гидробионтов определяется наличием растворенных фракций нефти, то этот результат объясняется большим выходом алифатических и полициклических углеводородов в водную фазу для системы с песчаными донными отложениями. Зависимость токсичности (Т) воды в отношении *Paramecium caudatum* от содержания алифатических и полициклических углеводородов нефти в водной фазе в данном модельном эксперименте описывается количественно уравнениями регрессии, приведенными в табл. 3.

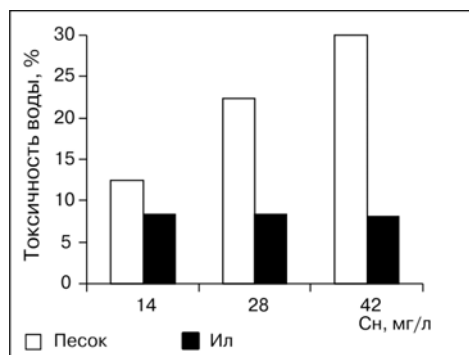


Рис. 5. Токсичность воды над песчанистыми и илистыми донными отложениями при различных дозах внесения нефти (Сн) в модельном эксперименте с *Paramecium caudatum*

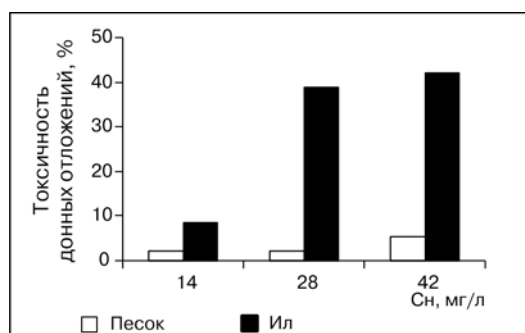


Рис. 6. Токсичность песчанистых и илистых донных отложений при различных дозах внесения нефти (Сн) в систему вода — донные отложения в модельном эксперименте с *Paramecium caudatum*

Одновременно исследовали токсичность водных экстрактов донных отложений. Из полученных результатов (рис. 6) следует, что в данном случае наблюдается обратная картина: токсичность илистых донных отложений в отношении *Paramecium caudatum* существенно превышает таковую для песчаных при всех дозах внесения нефти, что согласуется с меньшей сорбционной способностью последних. Количественное описание зависимости интегральной токсичности донных отложений от содержания исследуемых фракций углеводородов (табл. 3) было проведено с использованием метода нелинейной регрессии и показало, что наибольший вклад в интегральную токсичность донных отложений разных типов вносят полициклические углеводороды.

Таблица 3

Уравнения зависимости токсичности (Т) воды и донных отложений в отношении *Paramecium caudatum* от содержания различных фракций нефтепродуктов (алифатических — А и полициклических углеводородов — П) в модельном эксперименте

Среда	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции (R)	Коэффициент регрессии (R ²)	Уровень значимости (по критерию p < 0,05)
Водная фаза	$\log T = 1,769 + 1,639 \log C_A$	0,76	0,58	0,029
	$\log T = 1,426 + 0,930 \log C_P$	0,90	0,80	0,003
Донные отложения	$T = 4,784 + 0,071 C_P$	0,89	0,79	0,045

Тенденция увеличения токсичности донных отложений по мере увеличения сорбционных характеристик последних была подтверждена и в опытах на *Chironomus girardi* — типичных представителей бентосной фауны, основную часть своего жизненного цикла проводящих в донных отложениях. Хотя токсичность по критерию выживаемости, времени вылета имаго при заданных дозах внесения нефти достоверно не отличалась от контроля, однако линейный размер личинок на 20 сутки экспозиции в системе с илистыми грунтами был на 15—35% ниже по сравнению с песчанистыми. Низкая толерантность инфузорий по сравнению с хирономидами, по-видимому, связана с различными механизмами поступлением растворимых и более токсичных фракций углеводородов. Хирономиды имеют плотную кутикулу, не позволяющую воздействовать токсикантам по резорбтивному механизму. Для инфузорий, помимо мембранного переноса, большую роль играет особенность их питания, которая состоит в том, что биением ресничек перистомного поля и ундулирующей мембраны вода загоняется в глотку, где на месте соприкосновения с голой эндоплазмой образуется пищеварительная вакуоль.

Заключение. Показано, что если при внесении в систему вода — донные отложения сырой нефти в дозах, превышающих 0,1 г/л, донные отложения независимо от типа и сорбционной способности не играли существенной роли в накоплении углеводородов нефти, которые переходили в водную фазу в соответствии с их пределом растворимости и образовывали на поверхности нефтяную пленку.

Для выявления закономерностей накопления исследуемых фракций нефти в донных отложениях различных типов были проведены модельные эксперименты с внесением в систему вода — донные отложения добавок нефти до 0,05 мг/л, которые показали, что при увеличении дозы внесения сырой нефти в систему вода — песчанистые донные отложения наблюдался рост содержания всех исследуемых фракций нефти в водной фазе. В соответствующих опытах с илистым грунтом значительного увеличения содержания углеводородов в воде не отмечено, что согласуется с большей сорбционной способностью данного типа донных отложений и сопровождается повышением содержания всех фракций нефти в илистых донных отложениях и снижением их выхода в водную фазу.

Токсичность илистых донных отложений существенно превышает таковую для песчанистых при всех дозах внесения нефти, что согласуется с меньшей сорбционной способностью последних и соответственно меньшим содержанием углеводородов нефти. Показано, что наибольший вклад в интегральную токсичность донных отложений разных типов вносят полициклические углеводороды.

Таким образом, экспериментальное моделирование остаточного содержания нефти в водной экосистеме после проведения первичного ее сбора с водной поверхности при авариях на нефтепроводах может представлять большую токсикогенную угрозу для планктонных и бентосных организмов в водных системах с песчанистыми донными отложениями, нежели с илистыми.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Степанова Н.Ю., Латыпова В.З., Яковлев В.А.* Экология Куйбышевского водохранилища: донные отложения, бентос, бентосоядные рыбы. — Казань: Изд. ФЭН, 2004.
- [2] *Латыпова В.З., Степанова Н.Ю., Шалагин С.В.* К задаче математического моделирования зависимостей между концентрациями загрязняющих веществ в песчаных донных отложениях // Вестник КГТУ (КАИ) им. А.Н. Туполева. — 2004. — № 3. — С. 52—58.
- [3] ГОСТ 17.1.5.01-80. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность.
- [4] Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии / ПНД Ф 16.1:2.2.22-98. — М., 1998.
- [5] Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в природных и очищенных сточных водах фотометрическим методом колоночной хроматографии со спектрофотометрическим окончанием / ПНД Ф 14.1:2.62-96. — М., 1996.
- [6] Раздельное определение углеводородной и смолисто-асфальтеновой фракции / РД 39.0147098-015-90.
- [7] *Степанова Н.Ю., Говоркова Л.К., Анохина О.К., Латыпова В.З.* Оценка уровня загрязнения донных отложений Куйбышевского водохранилища в местах повышенного антропогенного пресса методом триады / В сб. Актуальные проблемы водной токсикологии. — Борок. — 2004. — С. 224—246.
- [8] *Ingersoll C.G., Nelson M.K.* Testing sediment toxicity with *Hyalella azteca* (Amphipoda) and *Chironomus riparius* (Diptera) // Aquatic Toxicology and Risk Assessment: Thirteen Volume, Amer. Soc. Testing and Materials. STP 1096, Philadelphia. — 1990. — P. 93—109.
- [9] *Боровиков В.Л., Боровиков И.П.* Statistica — статистический анализ и обработка данных в среде Windows. — М.: Инф. Издат. Дом «Филинь», 1997.

TOXICITY OF WATER AND SEDIMENTS TO PARAMECIUM CAUDATUM AND CHIRONOMUS RIPARIUS IN MODEL EXPERIMENTS WITH OIL CONTAMINATION

N.Yu. Stepanova, V.Z. Latypova, A.A. Alekseev

Kazan State University
Kremlevskaya str., 18, Kazan, Russia, 420008

Results of the model experiments with oil addition to the water-sediment system showed that essential role in process of oil distribution between water and solid phase belongs to sorption capacity of sediments. With increasing sorption characteristics of sediments oil redistributes toward solid phase therethrough reducing water toxicity to *Paramecium caudatum* and *Chironomus riparius*. Toxicity of silty sediment was higher then sandy one unlike water phase where toxicity was higher in sandy sediment system due to the presence of aliphatic and polycycling fractions of hydrocarbons in water.