

## УТИЛИЗАЦИЯ И ЗАХОРОНЕНИЕ ОТХОДОВ

УДК 504.4:57.045

## ВЛИЯНИЕ НАВОДНЕНИЯ 2019 г. НА АБИОТИЧЕСКУЮ И БИОТИЧЕСКУЮ СТРУКТУРУ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И ПОЧВ ПОЙМЫ р. АМУР

© 2022 г. Л. А. Гаретова<sup>1,\*</sup>, Г. В. Харитонов<sup>1</sup>, Е. Л. Имранова<sup>1</sup>, Н. К. Фишер<sup>1</sup>, О. А. Кириенко<sup>1</sup><sup>1</sup> Институт водных и экологических проблем ДВО РАН,  
ул. Дикопольцева, 56, Хабаровск, 680000 Россия

\*E-mail: micro@iver.as.khb.ru

Поступила в редакцию 18.07.2022 г.

После доработки 22.07.2022 г.

Принята к публикации 02.08.2022 г.

Приведены данные по физико-химическим характеристикам, гранулометрическому и пигментному составу, структуре микробных сообществ донных отложений и почв зоны наводнения в пойме р. Красная речка (малый приток р. Амур). Наиболее существенное перераспределение фракций в гранулометрическом составе донных отложений и почв после схода воды выявлено в зоне смешения вод Амурской протоки и малого притока: содержание фракции 10–50 мкм в осадках увеличилось до 59.8, в почве до 56.1%. Увеличение доли мелкой фракции в составе почвы сопровождалось увеличением содержания  $C_{орг}$ , а в донных отложениях – возрастанием количества углеводов, по сравнению с периодом до наводнения. Переувлажнение почвы после паводка сопровождалось 2–5 кратным увеличением концентраций фитопигментов. Изменение структуры микробных сообществ донных осадков и почв обусловлено синергическим воздействием наводнения и загрязнения сточными водами. По сравнению с допаводковым периодом численность гетеротрофных бактерий в донных отложениях увеличивалась от 17 до 90 раз, в почве до 10 раз. Длительное (около 3 мес.) затопление способствовало созданию восстановительных условий в почвах, результатом чего явились расширение спектра идентифицированных летучих органических соединений и увеличение их содержания до 10 раз.

**Ключевые слова:** наводнение, почвы, донные отложения, гранулометрический состав, органическое вещество, углеводороды, летучие органические соединения, фитопигменты, микроорганизмы

DOI: 10.31857/S0869780922050046

### ВВЕДЕНИЕ

Наводнения являются одними из самых разрушительных природных явлений. В результате действия различных факторов и процессов они происходят на всех континентах земного шара и по прогнозам будут оказывать все большее влияние на изменение климата [1, 19]. Несмотря на то что ежегодно от наводнений страдают тысячи людей, а убытки достигают десятков миллиардов долларов, учету самих наводнений и анализу их последствий внимания уделяется недостаточно. Затопление территорий в зависимости от временного и пространственного характера наводнений может изменить существующий ландшафт, состав и структуру как абиотических, так и биотических его компонентов. Наиболее существенными факторами воздействия наводнений на ландшафты являются глубина затопления и скорость потока.

Амур – одна из крупнейших рек не только на Дальнем Востоке, но и в мире. Длина реки со-

ставляет 2824 км, площадь бассейна 1856 тыс. км<sup>2</sup>. Участок Амура в районе г. Хабаровск характеризуется обилием проток и малых притоков, которые впадают как в основное русло, так и в протоки, крупнейшими из которых являются Амурская и Пензенская. Согласно многолетним наблюдениям, катастрофические паводки в бассейне р. Амур происходят каждые 20–30 лет. Текущее десятилетие выпадает из этой статистики. За последние 8 лет большие наводнения случились в 2013, 2019, 2020 и 2021 г. В результате наводнения 2013 г. уровень Амура у Благовещенска достиг 822 см, у Хабаровска 808 см, в Комсомольске-на-Амуре 910 см, что имело катастрофические последствия. Общий ущерб от наводнения составил 527 млрд руб.

Второе по масштабности после паводков 2013 г. за всю историю гидрологических измерений наводнение 2019 г. имело ряд особенностей. В предпаводочный период на реках Амур и Уссури преобладала пониженная водность. Однако

после выпадения интенсивных осадков в июне-июле (100–150%, местами до 300% месячной нормы) на территории Приамурья водность рек значительно повысилась. Во второй декаде августа в результате влияния тропических циклонов с сильными продолжительными дождями (50–90 мм/сут) в бассейнах рек Усури и Сунгари паводок принял затяжной характер. Уровень воды у г. Хабаровск на 1 сентября превысил отметку уровня 635 см, а в первой декаде сентября на паводковую обстановку повлиял экс-тайфун LINGLING, принесший сильные ливни с интенсивностью 50 мм/сут. Паводок категории опасного явления на р. Амур (максимальный уровень 644 см), который длился около 3 мес., закончился 15 октября. Ущерб от паводка в Хабаровском крае составил около 2 млрд руб.

Во время наводнений качество воды в реках закономерно ухудшается, и это ухудшение тем существеннее, чем сильнее проявления антропогенных нарушений на водосборной территории [7]. Исследование качества воды р. Амур [5] выявило существенное превышение допустимых концентраций тяжелых металлов. Так, нормы свинца были превышены почти в 17 раз. Содержание соединений молибдена, марганца, меди и цинка в воде превышало ПДК от 2 до 8 раз. Кроме этого, с прохождением волны паводка связано и увеличение содержания соединений азота вследствие аварийного сброса неочищенных сточных вод, в том числе в протоку Амурскую. Зафиксированное увеличение химического потребления кислорода связано с попаданием в Амур трудно разлагаемых органических веществ (ОВ), таких как нефтепродукты, масла и жиры.

Для оценки экологического состояния природных территорий и влияния на него природных и антропогенных процессов (наводнений в том числе) большое значение имеют исследования их тонкодисперсных компонентов в пойменных почвах и речных донных отложениях (ДО) [14]. Последние вследствие большой удельной поверхности и особенностей кристаллохимии минералов определяют процессы обмена с внешней средой, основу которых в значительной степени составляет их взаимодействие с водой. Наиболее динамичны эти взаимодействия в зоне современного седиментогенеза (пойменные почвы, наилки, ДО и взвеси рек и озер). Гранулометрический состав почв и ДО – один из основных параметров, характеризующих процессы седиментации и динамику водной среды в период наводнений. Он оказывает влияние на ОВ, физико-механические, окислительно-восстановительные условия, плотностную способность, структурное состояние почв и ДО [17]. Геохимические исследования наводнений на Амуре в основном касались распределения тяжелых металлов в почвах, воде и донных отложениях [8, 9]. Влияние наводнений

на структуру и отклик биотических компонентов ДО и почв на длительное затопление до настоящего времени не исследовалось.

Микроводоросли и микроорганизмы играют важную роль в экосистемных процессах и являются неотъемлемой частью биоценозов ДО и почв. Органическое вещество водорослей отличается легкой усвояемостью и дает высокий энергетический эффект, благодаря чему его используют многие гетеротрофные микроорганизмы. Микробные сообщества быстрее, чем сообщества растений, реагируют на изменение условий окружающей среды [21]. Они управляют биогеохимическими циклами Земли [20], влияя на продуктивность и динамику растительных сообществ [23], а также участвуют в процессах восстановления экосистем при различных видах воздействия. Зачастую текущие угрозы для почвенных сообществ являются следствием различных нарушений, которые действуют синергически. В качестве усугубляющего фактора при наводнениях действует аварийный сброс промышленных и бытовых вод без очистки.

Цель работы – исследование гранулометрического состава, органического вещества и связанных с ними биотических компонентов (фитопигменты, микроорганизмы) в ДО и почвах зоны затопления малого притока р. Амур (р. Красная речка).

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Район исследования расположен в южной части г. Хабаровск (рис. 1) на правом берегу Амурской протоки, в период 8.08–15.10.2019 г. он находился в зоне затопления. Район был условно разделен на три участка: верхний участок – зона преимущественного влияния вод р. Красная речка и ее заключенного в коллектор безымянного притока, являющегося приемником сточных вод (1); средний участок – зона смешения вод Амурской протоки и р. Красная речка (2); нижний участок – зона преимущественного влияния вод Амурской протоки (3). Амурская протока является самой крупной в районе Хабаровского водного узла и впадает в основное русло Амура в районе Утеса г. Хабаровск.

Истоки и участки верхнего течения и левых притоков р. Красная речка находятся за пределами городской черты в предгорьях хр. Малый Хецир, на городской территории речка дренирует аккумулятивные поверхности приамурских террас. Территория представлена промышленными предприятиями и жилыми массивами. Почвы водосбора р. Красная Речка представлены в предгорной части буроземами (слабо- и сильно нарушенными) на суглинисто-щебнистых элювиально-делювиальных отложениях склонов. Поверхность

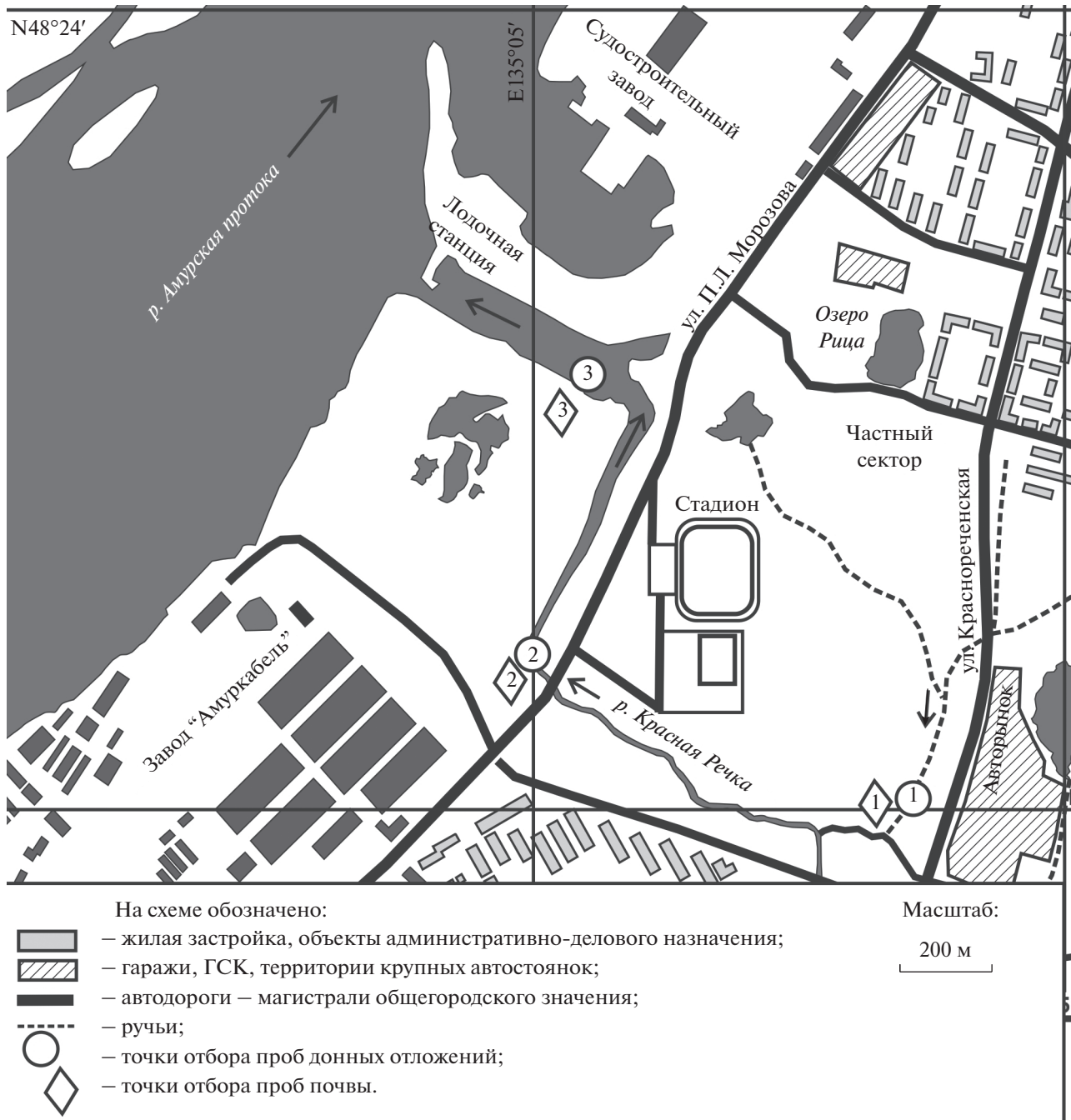


Рис. 1. Карта-схема района исследования.

низкой приамурской террасы с комплексом природных буро-отбеленных оглеенных и гидроморфных луговых глеевых почв перекрыта различными техногенными грунтами, на которых сформированы урботехноземы [10].

Пробы ДО и почв отбирали до и после наводнения 1 августа и 18 октября соответственно. Точки отбора проб сверяли по JPS-навигатору. Пробы почв отбирали методом “конверта” на глубину

0–20 см согласно ГОСТу 17.4.4.02-2017<sup>1</sup>. Пробы донных отложений (слой 0–10 см) отбирали пробоотборником “Burkle”. Для гранулометрического анализа высушенные до воздушно-сухого состояния средние пробы ДО и почв измельчали

<sup>1</sup> ГОСТ 17.4.4.02-2017 Охрана природы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического и гельминтологического анализа: Охрана природы. М.: Стандартинформ, 2018. 10 с.

при помощи пестика с резиновым наконечником и просеивали через сито с размером ячеек 2 мм. Распределение частиц в подготовленной пробе изучали методом лазерной дифракции на приборе Shimadzu SALD-2300 (Япония). В водной вытяжке из проб почв и ДО (в соотношении 1 : 5) определяли рН, минерализацию (М) при помощи измерителя комбинированного Seven Multi S-47k, Mettler-Toledo (Швейцария). Содержание органического вещества (ОВ) оценивали по потерям при прокаливании (ППП,  $T = +550^{\circ}\text{C}$ )<sup>2</sup>.

Определение массовой доли углеводов (УВ) выполняли по методике ПНД Ф 16.1:2.2.22–98<sup>3</sup>. Измерения проводили на концентратометре КН-2М (Сибэксприбор, Россия). Анализ летучих органических соединений (ЛОС) проводили методом парофазного анализа в сочетании с газовой хроматографией на хроматографе Кристалл-5000.1, детектор пламенно-ионизационный, капиллярная колонка HP FFAP 50 м × 0.32 мм × 0.32 мкм, при температуре от 50 до 200<sup>4,5</sup>. Идентификация компонентов ЛОС осуществлялась программой Хроматек-аналитик 2.5 версия 2.5.8.0 ЗАО СКБ “Хроматек” 1995–2005. Хроматографические анализы выполняли в ЦКП ИВЭП “Центр экологического мониторинга” (аналитик Г.М. Филиппова).

Фотосинтетические пигменты определяли согласно ГОСТу 17.1.4.02-90<sup>6</sup>, в вариации применительно к ДО [13] с использованием спектрофотометра Shimadzu UVmini-1240 (Япония). Численность эколого-трофических групп микроорганизмов в почве и ДО определяли общепринятыми в почвенной микробиологии методами [11].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### *Физико-химические параметры почв и донных отложений*

Отличия в состоянии почвенного покрова территории, подверженной длительному (в течение

<sup>2</sup> ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: ИПК. Изд-во стандартов, 1991. 8 с.

<sup>3</sup> ПНД Ф 16.1:2.2.22–98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органоминеральных, органико-минеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектрометрии. М.: Гос. ком. РФ по охране окружающей среды, 2005. 21 с.

<sup>4</sup> ПНД Ф 14.1:2:4.201-03. Методика выполнения измерений массовой концентрации ацетона и метанола в пробах питьевых, природных и сточных вод газохроматографическим методом. М.: ФГУ Центр экологического контроля и анализа, 2010. 16 с.

<sup>5</sup> ПНД Ф 14.1:2:4.57-96. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций ароматических углеводов в питьевых, природных и сточных водах газохроматографическим методом. М.: ФГБУ ФЦАО, 2017. 18 с.

<sup>6</sup> ГОСТ 17.1.4.02-90 Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла а. М.: ИПК. Изд-во стандартов, 1990. 14 с.

3 мес.) затоплению, в первую очередь проявлялись визуально: отмирание растительности и образование наносов в виде песка или наилка. Величина рН почвенной вытяжки за период исследования варьировала незначительно от 6.07 до 6.73, при этом наибольшее изменение данного показателя в кислую сторону отмечено в зоне затопления водами Амурской протоки (т. 3п) (табл. 1).

Максимальные величины минерализации почвенной вытяжки отмечались в почве верхнего участка русла р. Красная речка (т. 1п), и после затопления она изменилась незначительно. Минимальная минерализация наблюдалась в т. 3п (40.5 мг/л), а после схода воды она несколько увеличилась. Почва среднего участка р. Красная речка (т. 2п) характеризовалась промежуточными показателями минерализации, и после наводнения она снизилась.

Содержание  $C_{\text{орг}}$  в почвах варьировало от 1.37 до 8.92%. В почве верхнего участка (т. 1п) существенных изменений  $C_{\text{орг}}$  не выявлено. После затопления в грунте среднего участка (т. 2п) количество  $C_{\text{орг}}$  увеличилось до 8.92%, что связано с наносом наилка, обладающего значительными запасами ОВ и биогенных элементов [7]. В почве нижнего участка (т. 3п)  $C_{\text{орг}}$  уменьшилось в 4 раза, что, вероятно, обусловлено особенностями рельефа и высокой скоростью течения паводковых вод, способствующих вымыванию ОВ и нанесу песчаных фракций. Содержание УВ изменялось от <0.01 (граница чувствительности прибора) до максимального значения 0.56 мг/г в почве верхнего участка до затопления, что обусловлено стоком с урбанизированной территории. Последнее более чем в 5 раз превышает установленное фоновое содержание УВ в почвах для урбанизированных территорий 0.1 мг/г [12]. После наводнения за счет их вымывания паводковыми водами количество УВ в почвах снизилось.

Донные отложения ручья без названия (т. 1д) представлены илистыми песками, в основном русле – песчанистыми илами. Величина рН водной вытяжки, также как и в почвах незначительно варьировала в пределах 6.19–6.34. Минерализация отложений до наводнения снижалась по продольному профилю реки с 52 до 32 мг/л. После наводнения за счет стока с территории водосбора общей закономерностью являлось увеличение минерализации ДО и выравнивание ее величин до 65–66 мг/л во всех точках отбора (см. табл. 1).

Содержание  $C_{\text{орг}}$  в ДО зависело от типа осадка и колебалось до наводнения в пределах 3.57–5.81% при максимальном значении в илах ст. Зд. Минимальное его количество отмечалось в илистых песках ручья без названия, впадающего в р. Красная речка как до, так и после наводнения. Этот водоток в основном заключен в коллектор и,

Таблица 1. Физико-химические параметры почвы и ДО

№	Место отбора	Дата	Описание места отбора	pH	M, мг/л	УВ, мг/г	C <sub>орг</sub> , %
<b>Почвы</b>							
1п	Правый берег р. Красная речка в районе моста по пер. Краснореченскому	1.08.19	Высокая густая трава	6.31	105.7	0.56	6.62
		18.10.19	Замытая наилками поверхность, высохшее дно берегового склона	6.39	107.7	0.05	6.53
2п	Левый берег р. Красная речка в районе моста по ул. П.Л. Морозова	1.08.19	Высокая густая трава	6.63	97.9	0.12	5.76
		18.10.19	Отмершая трава, наилок, 5 см	6.10	80.9	0.10	8.92
3п	Левый берег затона	1.08.19	Высокая густая трава	6.73	40.5	0.19	5.53
		18.10.19	Отмершая трава, песок	6.07	51.4	<0.01	1.37
<b>Донные отложения</b>							
1д	Ручей без названия, выход из коллектора	1.08.19	Серый ил с небольшим количеством рыжей глины на поверхности	6.30	51.8	<0.01	3.57
		18.10.19	Серый плотный белесый ил с небольшим количеством песка	6.19	65.3	<0.01	3.68
2д	р. Красная Речка в районе моста по ул. П.Л. Морозова	1.08.19	Песок с глиной и растительными остатками с небольшим количеством глины	6.19	47.6	0.02	4.39
		18.10.19	Жидкий серый ил с небольшим количеством глины и растительных остатков	6.28	65.0	0.12	5.81
3д	р. Красная Речка, затон	1.08.19	Серый ил с глиной, немного растительных остатков	6.26	32.0	<0.01	5.82
		18.10.19	Серый ил с небольшим количеством камней	6.34	65.8	0.13	5.47

по сути, является сборником ливневых вод. Существенное увеличение C<sub>орг</sub> после паводка отмечалось на среднем участке реки (т. 2д). Вероятно, здесь замедление течения способствовало развитию фитопланктона и, соответственно, обогащению осадков легко окисляемым ОВ. Известно, что органическое вещество в ДО, преимущественно, связано с пелитовой фракцией (менее 10 мкм), что сопоставимо с размером планктонных организмов, участвующих в осадкообразовании [2, 3]. Максимальное содержание УВ в песчаных илах составляло 0.12–0.13 мг/г (средний и нижний участок, после наводнения), что несколько превышает фоновое для илистых осадков значение – 0.1 мг/г [4, 22] и, вероятно, обусловлено поверхностным стоком с близлежащих заводских территорий и дорог.

#### Гранулометрический состав

Гранулометрический состав почв после наводнения в результате процессов седиментации наносов наилка и песка претерпел изменения, проявление которых связано с гидрологическими условиями участка опробования. Так, в составе

почвы верхнего участка доминировала как до, так и после наводнения фракция 10–50 мкм (табл. 2), составляющая 38 и 44% соответственно. Наиболее существенные изменения гранулометрического состава почвы произошли на среднем участке водосбора (т. 2п), который испытывал влияние смешанных вод Красной речки и протоки Амурская и несомого ими материала. До наводнения в составе почвы доминировали частицы размером 100–250 и 250–500 мкм, в сумме составляющие 65%. После наводнения стали существенно преобладать частицы размером 10–50 мкм, что сопровождалось увеличением содержания C<sub>орг</sub> в 1.5 раза по сравнению с допаводковым периодом (см. табл. 1). Такое перераспределение гранулометрического состава обусловлено особенностями седиментации взвешенного материала на данном участке в период наводнения. В почве нижнего участка (т. 3п) после наводнения наблюдались снижение содержания мелких фракций 10–50 и 50–100 мкм и увеличение содержания частиц 250–500 мкм. При этом суммарная доля песчаных частиц размером 100–500 мкм увеличилась после наводнения от 75.8 до 82.8%, что

**Таблица 2.** Гранулометрический состав почв и ДО водосбора р. Красная речка (мкм)

Точка отбора	Дата отбора	<2	2–10	10–50	50–100	100–250	250–500	500–1000
Почва								
1п	1.08.19	3.4	12.6	37.8	18.1	22.7	5.3	0.0
	18.10.19	1.7	9.0	44.4	26.0	19.2	0.1	0.0
2п	1.08.19	0.0	6.6	8.7	10.1	30.3	34.8	9.5
	18.10.19	2.6	15.0	56.1	16.9	9.4	0.0	0.0
3п	1.08.19	0.0	0.4	3.5	8.8	30.4	45.7	11.1
	18.10.19	0.0	0.2	0.0	0.6	30.8	52.0	16.4
Донные отложения								
1д	1.08.19	6.4	27.7	45.7	11.05	9.1	0.1	0.0
	18.10.19	6.5	27.6	45.9	10.7	9.0	0.3	0.0
2д	1.08.19	0	8.4	17.53	17.61	37.8	17.7	1.1
	18.10.19	2.4	13.8	59.8	15.74	8.3	0.0	0.0
3д	1.08.19	4.6	22.6	55.8	13.7	3.3	0.0	0.0
	18.10.19	2.8	14.6	52.6	16.4	13.2	0.5	0.0

обусловлено более высокой скоростью течения паводковых вод Амурской протоки, в результате чего седиментации подвергались более крупные частицы несомого водой материала.

Динамика гранулометрического состава ДО характеризует не только условия аккумуляции наносов и способность их к переносу водным потоком, но и реальные и возможные процессы накопления тех или иных веществ, поступающих с территории водосбора. Известно, что размер частиц <100 мкм – транзитная составляющая речных наносов [15], а в ДО Амурской протоки преобладающей является фракция алевролитов, максимум которой в дифференциальном распределении частиц соответствует размеру 24–27 мкм [16]. Согласно полученным данным (см. табл. 2), отложения Красной речки до наводнения были представлены главным образом частицами размером 10–50 мкм с высокой долей (до 27.7%) частиц 2–10 мкм и долей частиц 50–100 мкм (до 17.61%). Существенных изменений в гранулометрическом составе ДО верхнего участка (т. 1д) после наводнения не выявлено. Доминирующей фракцией были частицы размером 10–50 мкм. Сходная картина наблюдалась в ДО нижнего участка (т. 3д), где содержание указанной фракции составляло 53–56%. Только в ДО среднего участка (т. 2д) выявлено существенное изменение гранулометрического состава после наводнения. Здесь до наводнения преобладающей фракцией были частицы размером 100–250 мкм (38%), а после наводнения доминирующими в составе ДО стали частицы 10–50 мкм, содержание которых увеличилось в 3.4 раза по сравнению с допаводковым периодом. Данный участок русла Красной речки характеризуется значительным изгибом,

что способствует замедлению течения, в результате чего создаются условия для седиментации мелкодисперсного материала. Гранулометрический состав определяет удельную поверхность ДО и, соответственно, влияет на накопление ОБ и процессы его трансформации. Отмечено, что при некотором увеличении содержания ОБ на среднем участке (т. 2д) в ДО в 6 раз увеличилось содержание УВ (см. табл. 1).

Наиболее явно различия в распределении фракций в почвах и ДО среднего участка проявляются в наличии выраженных максимумов на дифференциальных кривых (рис. 2а, б).

#### *Содержание фитопигментов и бактерий*

Формирование ОБ определяется многими факторами, в том числе количественным и качественным составом первичных продуцентов. Различные продуценты отличаются по пигментному составу, поэтому для оценки их распределения использовали данные по концентрации отдельных фитопигментов и их суммарному содержанию в почвах и ДО  $\Sigma$ пигм = хл. а + хл. б + хл. с + каротиноиды.

Содержание фитопигментов в почве существенно варьировало – от 4.06 до 42.71 мкг/г, при максимальном количестве в почве среднего участка (т. 2п) после наводнения и минимальном в почве нижнего участка (т. 3п) до наводнения (табл. 3). Общей тенденцией являлось увеличение суммы пигментов в почве после наводнения, что, вероятнее всего, обусловлено переувлажнением почвы, способствующим развитию микроводорослей. В качественном составе также произошли изменения – если в почве верхнего участка (т. 1п)

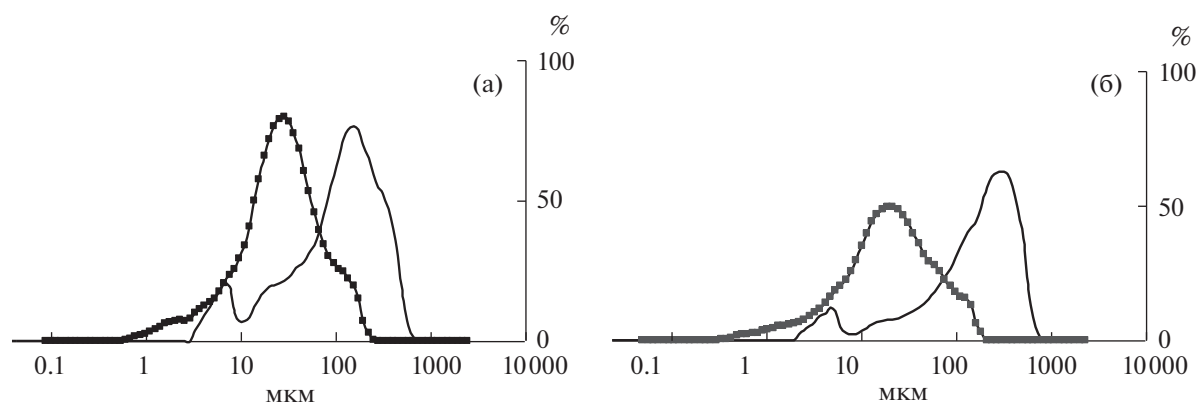


Рис. 2. Гранулометрический состав донных отложений (а) и почвы (б) среднего участка водосбора р. Красная речка: сплошная линия – до наводнения, линия с маркером – после наводнения.

до затопления в небольшом количестве присутствовали только каротиноиды, то после наводнения в составе пигментов появились хлорофиллы, при этом количество хл. *a* было сопоставимо с каротиноидами. Широким пигментным составом отличалась почва среднего участка (т. 2п). Здесь после наводнения содержание хл. *a* увеличилось в 4, а каротиноидов в 2 раза, при преобладании хл. *a*. При этом отношение хл. *a*/кар. = 1.03, что указывает на активно функционирующее сообщество микроводорослей в почве, подверженной затоплению.

В ДО суммарное содержание фитопигментов составляло 4.09–33.71 мкг/г. Максимальное количество было отмечено в ДО на среднем участке (т. 2д), а минимальное – в осадках ручья без названия (т. 1д) после паводка. Общей закономер-

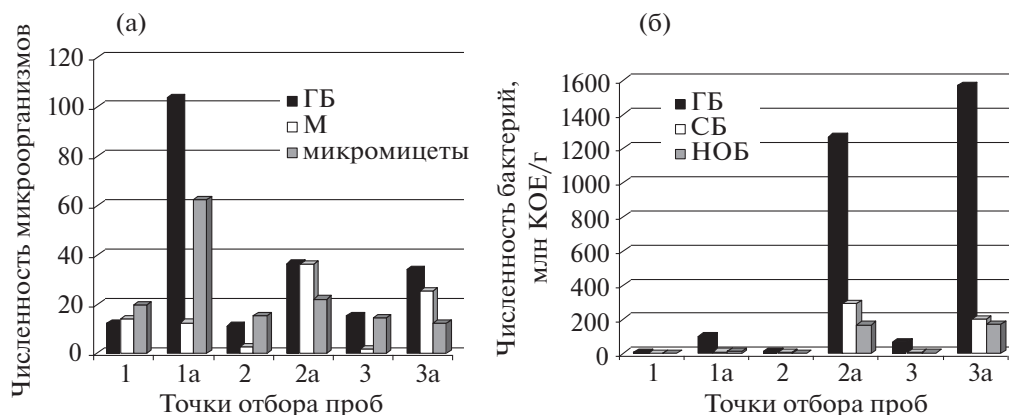
ностью являлось доминирование в составе пигментов каротиноидов – отношение хл. *a*/кар. = 0.23–0.71, что в равной степени характеризует как угнетенное состояние автохтонного фитобентосного сообщества [13], так и наличие в ДО отмершей биомассы растительности. После паводка содержание хл. *a* в осадках верхнего участка (т. 1д) снизилось, а на среднем (т. 2д) и нижнем (т. 3д) участках увеличилось, что может быть обусловлено стимулирующим стоком биогенных элементов в период наводнения. Хлорофилл *b* характерен для наземной растительности, его доля в сумме фитопигментов среднего (т. 2д) и нижнего (т. 3д) участков до и после паводка практически не изменилась и составляла 7.0–8.5 и 12.2–12.7% соответственно. Доля хл. *c*, доминирующего в составе пигментов диатомовых водорослей, в осад-

Таблица 3. Содержание пигментов в почвах и донных отложениях (мкг/г)

Образец	Дата отбора проб	хл. <i>a</i>	хл. <i>b</i>	хл. <i>c</i>	кар.	Сумма	хл. <i>a</i> /кар.
Почвы							
1п	1.08	–	–	–	6.85	6.85	–
	18.10	12.05	4.46	4.06	12.27	32.84	0.98
2п	1.08	4.40	2.78	3.92	9.53	20.63	0.46
	18.10	18.39	4.38	2.13	17.81	42.71	1.03
3п	1.08	–	–	–	4.06	4.06	–
	18.10	4.57	–	4.92	8.11	17.60	0.56
Донные отложения							
1д	1.08	1.60	–	3.11	6.81	11.52	0.23
	18.10	–	–	–	4.09	4.09	–
2д	1.08	5.97	2.03	3.67	12.16	23.83	0.49
	18.10	10.78	2.36	5.39	15.18	33.71	0.71
3д	1.08	4.39	2.78	3.92	10.88	21.97	0.40
	18.10	6.05	2.42	0.36	10.94	19.77	0.55

(–) – не обнаружено.





**Рис. 3.** Численность микроорганизмов: а – в почвах водосбора р. Красная речка: гетеротрофные бактерии (ГБ) и бактерии-минерализаторы (М) в млн КОЕ/г, микромицеты, тыс. КОЕ/г; б – в донных отложениях р. Красная речка: гетеротрофные бактерии (ГБ), сапрофитные бактерии (СБ), нефтеокисляющие бактерии (НОБ). 1, 2, 3 – до наводнения, 1а, 2а, 3а – после наводнения.

ках нижнего участка (т. 3д) после паводка снизилась почти в 10 раз (1.85%). В осадках среднего участка р. Красная речка (т. 2д) доля хл. с в составе фитопигментов практически не изменилась и составляла 15.4–16.0%, что указывает на достаточно активное участие диатомит в продукции ОВ. В целом по описанным признакам существенного влияния паводка на состав фитобентосного сообщества Красной речки не выявлено.

Микробные сообщества участвуют во всем многообразии процессов трансформации ОВ. Они представлены группами микроорганизмов, которые предпочитают те или иные субстраты и/или минеральные компоненты. Подразделение микроорганизмов на соответствующие группы по типам питания достаточно условно, но оно позволяет оценить влияние различных факторов на структуру микробных сообществ. Состав микробного сообщества имеет решающее значение для прогнозирования темпов экосистемных процессов, что, к сожалению, часто игнорируется по сравнению с растительностью [18].

В почвах численность гетеротрофных бактерий (ГБ) варьировала от 12.1 до 103.9 млн КОЕ/г, группы бактерий минерализаторов (М), участвующих на поздних стадиях разложения ОВ, составляла 1.7–36.3 млн КОЕ/г. После затопления прослеживается тенденция к увеличению численности ГБ, бактерий, использующих минеральную форму азота, а также группы микромицетов (рис. 2).

Особенно значимое увеличение численности ГБ (в 8.6 раза) отмечено в почвах верхнего участка, а бактерий минерализаторов в почве среднего и нижнего участка (т. 2п и 3п), где увеличение их численности по сравнению с периодом до затопления составило 14.4–14.5 раза. Численность микромицетов варьировала от 12.34 до 62.35 тыс. КОЕ/г,

при максимальном количестве в почве верхнего участка и минимальном в почве нижнего участка после наводнения. Увеличение численности бактерий, вероятно, обусловлено отмиранием растительности в период наводнения, привнесом в почву азотсодержащих веществ с паводковыми водами, а также развитием микроводорослей в почве после затопления. Известно, что усиление развития водорослей в почве ведет к увеличению численности многих физиологических групп микроорганизмов [6]. Численность нефтеокисляющих бактерий (НОБ) в почве была достаточно велика и составляла от 1.57 до 19.45 млн КОЕ/г при максимальном содержании в почвах верхнего участка (т. 1п) после наводнения. Их доля в сообществе гетеротрофных бактерий составляла от 4.3 до 85.1% при максимуме в почвенном сообществе верхнего участка до наводнения, что обусловлено близостью автомобильной магистрали. После наводнения доля НОБ снизилась вследствие вымывания УВ из почвы.

#### Содержание летучих органических соединений

При длительном затоплении почв в них создаются восстановительные условия, в результате чего трансформация углеводородных, углеводных и белковых веществ осуществляется анаэробными бактериями с образованием ЛОС. В их число входят кислородсодержащие органические соединения (спирты, альдегиды, эфиры). Класс опасности для большинства данных соединений не установлен, но они обладают большей токсичностью, чем нефть и исходные ОВ. Особенно это касается продуктов трансформации ароматических соединений, обладающих канцерогенными свойствами.



**Таблица 4.** Содержание летучих органических соединений в почвах

Компоненты, мкг/см <sup>3</sup>	Т. 1д		Т. 2д		Т. 3д	
	1.08.19	18.10.19	1.08.19		1.08.19	18.10.19
Гексан	0.0050	0.0122	0.0083	0.0458	—	0.0057
Этилацетат	0.0020	0.0122	0.008	—	—	0.0091
Бензол	0.0005	—	—	0.0340	0.0007	0.0039
Бутанол	—	—	—	0.0720	—	—
Изобутанол	—	—	—	0.0636	—	—
Бутилацетат	—	—	0.0039	0.0047	—	0.0028
Этилбензол	0.0005	—	0.0006	0.0025	0.0005	0.0006
Толуол	0.0021	0.0239	0.0089	0.0728	0.0071	0.0038
Изопропилбензол	0.0003	0.0001	0.001	0.0006	0.0002	0.0003
<i>М</i> -ксилол	0.0008	0.0003	0.0030	0.0037	0.0003	0.0010
<i>П</i> -ксилол	0.0003	—	—	0.0015	—	0.0005
<i>О</i> -ксилол	0.0027	0.0022	0.0014	0.0049	0.0013	0.0013
Сумма ЛОС	0.014	0.051	0.035	0.339	0.010	0.029

(—) – не обнаружено.

**Таблица 5.** Содержание летучих органических соединений в ДО р. Красная речка

Компоненты, мкг/см <sup>3</sup>	Т. 1д		Т. 2д		Т. 3д	
	1.08.19	18.10.19	1.08.19	18.10.19	1.08.19	18.10.19
Гексан	—	—	0.0106	0.0199	0.0019	0.0047
Этилацетат	—	—	0.0075	—	0.0038	0.0155
Бензол	0.0001	0.0001	0.0011	0.0005	0.0003	0.0005
Этилбензол	0.0002	—	—	0.0004	—	—
Толуол	0.0028	0.0002	0.0125	0.0054	0.0008	0.0017
<i>М</i> -ксилол	0.0023	0.0001	0.0006	0.0022	0.0002	0.0006
<i>П</i> -ксилол	0.0001	0.0003	—	—	0.0003	—
<i>О</i> -ксилол	0.0003	0.0002	0.0010	0.0014	0.0007	0.0008
Бутанол	—	—	—	—	0.0022	—
Изопропилбензол	0.0011	—	0.0003	0.0012	0.0002	—
Сумма ЛОС	0.007	0.003	0.034	0.031	0.010	0.024

(—) – не обнаружено.

Результаты анализа ЛОС в нативных почвенных образцах показывают (табл. 4), что после затопления увеличилось их суммарное содержание.

В послепаводковый период максимальное (на порядок) увеличение содержания ЛОС выявлено в почве среднего участка (т. 2п). Изменилось и содержание индивидуальных веществ. Так, содержание гексана и толуола, сопутствующих загрязнению нефтепродуктами, увеличилось более чем на порядок. Во всех образцах присутствовали толуол, изопропилбензол, *м*- и *о*-ксилол. Самый широкий спектр идентифицированных ЛОС выявлен в почвах среднего участка (т. 2п). Большинство ЛОС обладают характерным резким запахом

и высокой токсичностью. Согласно гигиеническим нормативам СанПиН 1.2.3685-21<sup>7</sup>, эти вещества принадлежат к 1–4 классам опасности.

В ДО содержание ЛОС, в целом, было ниже, чем в почвах, существенных изменений в их количестве до паводка и после его прохождения не выявлено (табл. 5). Во всех образцах присутствовали бензол, толуол, *м*- и *о*-ксилол. Наибольшее разнообразие ЛОС выявлено в осадках нижнего участка (ст. 3д) до паводка. По содержанию гексана отличаются осадки среднего участка (т. 2д), где

<sup>7</sup> СанПиН 1.2.3685-21. “Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания”. 960 с.

его содержание на порядок превышает количество в других образцах ДО. После паводка здесь снизилось содержание бензола, толуола (более чем на порядок), но увеличилось количество *m*-ксилола и изопропилбензола.

### ВЫВОДЫ

После длительного (около 3 мес.) нахождения почв под водой их верхний слой подвергся значительной структурной трансформации: на участке замедленного течения верхний слой почвы пополнился наилком, а на участке с высокой скоростью течения произошло отложение песка.

Наиболее существенное перераспределение фракций в составе затопленных почв и ДО в пользу более мелких (10–50 мкм) выявлено в зоне влияния смешанных вод Амурской протоки и р. Красная речка с замедленным течением, создающем условия для осаждения мелкодисперсного материала. Возрастание доли мелкой фракции в составе почвы сопровождалось увеличением содержания  $C_{орг}$  и углеводов в донных отложениях по сравнению с допаводковым периодом.

В период наводнения одновременно происходят противоположные процессы: вымывание органических веществ и их аккумуляция в почве и ДО. Напряженность и преобладание того или иного из них зависит от гидрологического режима участка водосбора (уровень и скорость течения воды, период прохождения паводка), а также от количества и качественного состава ОВ в исходных отложениях и водных массах.

В паводок за счет переувлажнения в почвах увеличивается содержание фотосинтетических пигментов, т.е. в балансе ОВ увеличивается роль первичной продукции. Существенного влияния паводка на функционирование фитобентосных сообществ не выявлено. Неравномерность распределения фитопигментов в осадках различных участков обусловлена как сезонными изменениями, так и гранулометрическим составом осадков.

После наводнения, как в почвах, так и ДО, значительно увеличивается численность микроорганизмов, что связано с обогащением данных субстратов отмершим в период затопления растительным материалом и биогенными элементами, поступающими с паводковыми водами.

В процессе затопления в почвах создаются восстановительные условия, способствующие развитию анаэробных микробиологических процессов, в результате увеличивается суммарное содержание летучих органических соединений и их разнообразие.

Авторы выражают благодарность ведущему инженеру Г.М. Филипповой (ЦКП ИВЭП ДВО РАН “Центр экологического мониторинга”) и ведущему научному сотруднику, к.б.н. М.А. Кли-

мину (ИВЭП ДВО РАН) за помощь в выполнении анализов, а также научному сотруднику А.М. Кошелькову (ИГД ДВО РАН) за помощь в отборе проб.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авакян А.Б., Истомина М.Н. Наводнения как глобальная многоаспектная проблема // Вестник РАН. 2002. Т. 72. № 12. С. 1059–1068.
2. Бреховских В.Ф., Казмирук Т.Н., Казмирук В.Д. Донные отложения Иваньковского водохранилища. М: Наука, 2006. 176 с.
3. Выхристюк Л.А., Варламова О.Е. Донные отложения и их роль в экосистеме Куйбышевского водохранилища. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 174 с.
4. Галимов Э.М., Кодина Л.А., Степанец О.В. Биогеохимия и проблемы радиоактивного загрязнения морей России (на примере Карского моря) // Фундаментальные исследования океанов и морей / Под ред. Н.П. Лаверов. М.: Наука, 2006. Т. 2. С. 440–465.
5. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Хабаровского края в 2019 году / Под ред. А.А. Сабитова. Министерство природных ресурсов Хабаровского края, 2020. 268 с. <https://mpr.khabkrai.ru/?menu=getfile&id=8149&view=1>
6. Джеффри Ч. Биологическая номенклатура. Пер. с англ. Е.Б. Алексеева / Под ред. М.В. Миных. М.: Мир, 1980. 119 с.
7. Истомина М.Н., Кочарян А.Г., Лебедева И.П., Никитская К.Е. Экологические последствия наводнений // Инженерная экология. 2004. № 4. С. 3–19.
8. Махинов А.Н., Лю Шуэуан, Махинова А.Ф., Чаомин Даи. Влияние наводнений и урбанизации на содержание тяжелых металлов в воде и донных отложениях реки Амур // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24. № 12. С. 32–38.
9. Махинов А.Н., Махинова А.Ф. Влияние наводнений на геохимические потоки в почвах долины Амура // Успехи современного естествознания. 2017. № 1. С. 58–63.
10. Нарбут Н.А., Антонова Л.А., Матюшкина Л.А., Климина Е.М., Караванов К.П. Стратегия формирования экологического каркаса городской территории (на примере Хабаровска). Владивосток: Хабаровск: ДВО РАН, 2002. 129 с.
11. Практикум по микробиологии: Учеб. пос. для студентов ВУЗов / Под ред. А.И. Нетрусова. М.: Изд. центр “Академия”, 2005. 608 с.
12. Рогозина Е.А. Геохимические изменения в составе нефти при биодegradации // Разведка и охрана недр. 2010. № 4. С. 63–68.
13. Сигарева Л.Е. Хлорофилл в донных отложениях Волжских водоемов. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 217 с.
14. Харитонов Г.В., Остроухов А.В., Тюгай З., Крутикова В.О. Лабильные компоненты донных отложений р. Симми (заповедник “Болоньский”) // Вестник Московского ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2020. № 4. С. 27–34.

15. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география и практика. Т. I. Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 608 с.
16. Чижикина Н.П., Сиротский С.Е., Харитоновна Г.В., Манучаров А.С. и др. Минералогический и химический состав тонкодисперсной части донных отложений р. Амур // Почвоведение. 2011. № 7. С. 848–860.
17. Шерышева Н.Г., Ракитина Т.А., Поветкина Л.П. Условия формирования гранулометрического состава иловых отложений на территории национального парка “Самарская лука” // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. Самарская Лука. 2009. Т. 18. № 3. С. 104–113.
18. Allison S.D., Martiny J.B.H. Resistance, resilience, and redundancy in microbial communities // Proc. of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2008. V. 105. P. 11512–11519.
19. Bapiri A., Bååth E., Rousk J. Drying-rewetting cycles affect fungal and bacterial growth differently in an arable soil // Microbial ecology. 2010. V. 60. № 2. P. 419–428.
20. Griffiths B.S., Philippot L. Insights into the resistance and resilience of the soil microbial community // FEMS Microbiology Reviews. 2013. V. 37. P. 112–129.
21. Harris J.A. Soil microbial communities and restoration ecology: facilitators or followers? // Science. 2009. V. 325. № 5940. P. 573–574.
22. Tolosa I., Mora S., Sheikholeslami M.R., Villeneuve J.P. et al. Aliphatic and Aromatic Hydrocarbons in coastal Caspian Sea sediments // Marine Pollution Bulletin. 2004. V. 48. P. 44–60.
23. Van der Heijden M.G.A., Bardgett R.D., Van Straalen N.M. The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems // Ecology Letters. 2008. V. 11. № 3. P. 296–310.

## THE IMPACT OF THE 2019 FLOOD ON THE ABIOTIC AND BIOTIC STRUCTURE OF BOTTOM SEDIMENTS AND SOILS IN THE AMUR RIVER FLOODPLAIN

L. A. Garetova<sup>a,#</sup>, G. V. Kharitonova<sup>a</sup>, E. L. Imranova<sup>a</sup>, N. K. Fisher<sup>a</sup>, and O. A. Kirienko<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Institute of Water and Ecological Problems, Far East Branch, Russian Academy of Sciences,  
ul. Dikopol'tseva, 56, Khabarovsk, 680000 Russia

<sup>#</sup>E-mail: micro@ivep.as.khb.ru

Large and catastrophic floods occur every 20–30 years in the Amur River basin. The current decade is characterized by an extremely high frequency of recurrence of large floods and prolonged (up to three months or more) flooding in the floodplain (2013, 2019–2021). Unfortunately, insufficient attention is paid to the analysis of the consequences of flood impact on individual components of ecosystems. This is especially true for the study of changes in the abiotic and biotic structure of edaphic components of ecosystems (bottom sediments and soils) during prolonged flooding. In this work, we have analyzed and assessed changes in the content of organic matter, hydrocarbons and volatile organic compounds, particle-size distribution and pigment composition, structure of microbial communities in bottom sediments (BS) and floodplain soils after the 2019 flood. Samples of BS and soils were taken in 3 areas of the floodplain of the Amur River channel, including the mouth area of a small tributary of the Krasnaya Rechka River, before the flood and after the flood (August 1 and October 18, respectively). The coordinates of sampling points were verified using the JPS navigator. The study of the granulometric composition of samples by laser diffraction (Shimadzu-2300, Japan) revealed the features of particle-size distribution in the composition of BS and soils after prolonged flooding (about 3 months). It is shown that in the mixing zone of the waters of the Amurskaya branch and the Krasnaya Rechka, after the water drained, the content of the most representative fraction of suspended sediments of the Amurskaya branch (10–50 μm) in the surface layer of BS and soils (0–20 cm) increased significantly and amounted to more than 50% (59.8 and 56.1%, respectively), which is due to the deposition of substantial amount of silt. It was accompanied by an increase in the content of C<sub>org</sub>; in addition, the amount of hydrocarbons in BS increased in comparison with the pre-flood period. Analysis of the structure and abundance of the biotic community (ecological and trophic groups of microorganisms, phytopigments) showed that soil flooding during the flood led to an increase in the total content of phytopigments (up to 5 times) and the proportion of carotenoids in their composition. The change in the structure of microbial communities in BS and soils is due to the synergistic effect of flooding and pollution by emergency sewage. Compared with the pre-flood period, the number of heterotrophic bacteria in soils increased up to 10 times, in bottom sediments up to 90 times. The study of the qualitative composition of volatile organic compounds by vapor-phase analysis in combination with gas chromatography showed that prolonged flooding contributed to the creation of reducing conditions in soils, resulting in an expansion of the spectrum of identified volatile organic compounds and an increase in their content up to 10 times compared with the pre-flood period.

**Keywords:** flood, soil, bottom sediments, particle-size distribution, organic matter, hydrocarbons, phytopigments, microorganisms, volatile organic substances

## REFERENCES

1. Avakyan, A.B., Istomina, M.N. *Navodneniya kak global'naya mnogoaspekt'naya problema* [Floods as a global multidimensional problem]. *Vestnik RAN*, 2002, vol. 72, no. 12, pp. 1059–1068. (in Russian)
2. Brekhovskikh, V.F., Kazmiruk, T.N., Kazmiruk, V.D. *Donnye otlozheniya Ivan'kovskogo vodokhranilishcha* [The bottom sediments of the Ivan'kovo water reservoir]. Moscow, Nauka Publ., 2006, 176 p. (in Russian)
3. Vykhristyuk, L.A., Varlamova, O.E. *Donnye otlozheniya i ikh rol' v ekosisteme Kuibyshevskogo vodokhranilishcha* [Bottom sediments and their role in the ecosystem of Kuibyshev water reservoir]. Togliatti, IEVB RAS Publ., 2003, 174 p. (in Russian)
4. Galimov, E.M., Kodina, L.A., Stepanets, O.V. *Biogekhimiya i problem radioaktivnogo zagryazneniya morei Rossii (na primere Karskogo moraya)* [Biogeochemistry and problems of radioactive contamination of the Russian seas (by the example of the Kara Sea). *Fundamental'nye issledovaniya okeanov i morei* [Fundamental research of oceans and seas]. Laverov, N.P., Ed., Moscow, Nauka Publ., 2006, vol. 2, pp. 440–465. (in Russian)
5. *Gosudarstvennyi doklad o sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchei srede Khabarovskogo kraya v 2019 godu* [State report on the state and environmental protection of the Khabarovsk Territory in 2019], A.A. Sabitova, Khabarovsk, Ministry of Natural Resources of the Khabarovsk Territory Publ., 2020, 268 p. (in Russian)
6. Jeffrey, Ch. *Biologicheskaya nomenklatura* [Biological nomenclature]. Translated from English, Moscow, Mir Publ., 1980, 119 p. (in Russian)
7. Istomina, M.N., Kocharyan, A.G., Lebedeva, I.P., Nikitskaya, K.E. Environmental impacts of floods. *Inzhenernaya ekologiya*, 2004, no. 4, pp. 3–19. (in Russian)
8. Makhinov, A.N., Liu Shuguang, Makhinova A.F., Chaomin Dai. *Vliyanie navodnenii i urbanizatsii na sodержanie tyazhelykh metallov v vode i donnykh otlozheniyakh reki Amur* [Influence of flooding and urbanization on the content of heavy metals in water and bottom sediments of the Amur River]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2020, vol. 2, no. 12, pp. 32–38. (in Russian)
9. Makhinov, A.N., Makhinova, A.F. *Vliyanie navodnenii na geokhimicheskie potoki v pochvakh doliny Amura* [Influence of flooding on geochemical fluxes in soils of the Amur River valley]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2017, no. 1, pp. 58–63. (in Russian)
10. Narbut, N.A., Antonova, L.A., Matyushkina, L.A., Klimina, E.M., Karavanov, K.P. *Strategiya formirovaniya ekologicheskogo karkasa gorodskoi territorii (na primere Khabarovska)*. [Strategy for the formation of the ecological frame of the urban area (by the example of Khabarovsk)]. Vladivostok; Khabarovsk, FEB RAS Publ., 2002, 129 p. (in Russian)
11. *Praktikum po mikrobiologii: ucheb. posobie dlya studentov vuzov* [Practical works in microbiology: textbook for higher school students], A.I. Netrusov, Ed., Moscow, Academiya Publ., 2005, 608 p. (in Russian)
12. Rogozina, E.A. *Geokhimicheskie izmeneniya v sostave nefii pri biodegradatsii* [Geochemical changes in the composition of oil during biodegradation]. *Razvedka i okhrana nedr*, 2010, no. 4, pp. 63–68. (in Russian)
13. Sigareva, L.E. *Khlorofill v donnykh otlozheniyakh Volzhskikh vodoemov* [Chlorophyll in bottom sediments of the Volga River reservoirs]. Moscow, KMK Publ., 2012, 217 p. (in Russian)
14. Kharitonova, G.V., Ostroukhov, A.V., Tyugai, Z., Krutikova, V.O. *Labil'nye komponenty donnykh otlozhenii r.Simmi (zapovednik "Bolon'skii")* [Labile components of bottom sediments of the Simmi River (reserve "Bologna")]. *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 17. Pochvovedeniye*, 2020, no. 4, pp. 27–34. (in Russian)
15. Chalov, R.S. *Ruslovedeniye: teoriya, geografiya i praktika. T. I. Ruslovye protsessy: faktory, mekhanizmy, formy proyavleniya i usloviya formirovaniya rechnykh rusel* [River channel studies: theory, geography and practice. Vol. I. Channel processes: factors, mechanisms, forms of manifestation and conditions of river channel formation]. Moscow, LKI Publ., 2008, 608 p. (in Russian)
16. Chizhikova, N.P., Sirotskii, S.E., Kharitonova, G.V., Manucharov, A.S., Konovalova, N.S., Utkina, E.V. *Mineralogicheskii i khimicheskii sostav tonkodispersnoi chasti donnykh otlozhenii r.Amur* [The mineralogical and chemical composition of the fine-dispersed bottom sediments of the Amur River]. *Pochvovedenie*, 2011, no. 7, pp. 848–860. (in Russian)
17. Sherysheva, N.G., Rakitina, T.A., Povetkina, L.P. *Usloviya formirovaniya granulometricheskogo sostava ilovykh orlozhenii na tterritorii natsional'nogo parka "Samarskaya Luka"* [Conditions of particle-size distribution formation in silt deposits in the Samarskaya Luka National Park]. *Samarskaya Luka: problemy regional'noi i global'noi ekologii* [Samarskaya Luka: issues of regional and global ecology]. Samarskaya Luka, 2009, vol. 18, no. 3, pp. 104–113. (in Russian)
18. Allison, S.D., Martiny, J.B.H. Resistance, resilience, and redundancy in microbial communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2008, vol. 105, pp. 11512–11519.
19. Bapiri, A., Bååth, E., Rousk, J. Drying-rewetting cycles affect fungal and bacterial growth differently in an arable soil. *Microbial ecology*, 2010, vol. 60, no. 2, pp. 419–428.
20. Griffiths, B.S., Philippot, L. Insights into the resistance and resilience of the soil microbial community. *FEMS Microbiology Reviews*, 2013, vol. 37, pp. 112–129.
21. Harris, J.A. Soil microbial communities and restoration ecology: facilitators or followers? *Science*, 2009, vol. 325, no. 5940, pp. 573–574.
22. Tolosa, I., Mora, S., Sheikholeslami, M.R., Ville-neuve, J.P., Bartocci, J., Cattini, C. Aliphatic and Aromatic Hydrocarbons in coastal Caspian Sea sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 2004, vol. 48, pp. 44–60.
23. Van der Heijden, M.G.A., Bardgett, R.D., Van Straalen, N.M. The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 2008, vol. 11, no. 3, pp. 296–310.