

УДК 631.412:631.74:551

ЛАБИЛЬНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ р. СИММИ (ЗАПОВЕДНИК «БОЛОНЬСКИЙ»)*

Г.В. Харитонов, А.В. Остроухов, З. Тюгай, В.О. Крутикова

Методами рентгенофлуоресцентного, электронно-микроскопического, седиментационного анализов и лазерной дифрактометрии изучен состав донных отложений в приустьевой части р. Симми, малого притока Амура (заповедник «Болоньский», Хабаровский край, Россия). Установлено, что образование лабильных компонентов донных отложений здесь (вивианит-глинистые микроагрегаты, микрокристаллы гипса, мезокристаллы ватерита) связано с влиянием пирогенного фактора в ее бассейне и уровня режима главной реки. Причина подвижности образований — их малый размер (< 100 мкм). Показано, что и отложения в целом формируются преимущественно взвешенными наносами (размер частиц < 100 мкм), что соответствует озерно-аллювиальному генезису территории. Выявлены два механизма образования вивианита в донных отложениях при повышенном содержании фосфат-ионов в воде после пожаров. Образование вивианита происходит на поверхности железисто-глинистых микроагрегатов за счет восстановления Fe(III) в присутствии органического вещества и на биологических темплатах (органические остатки, одноклеточные микроорганизмы).

Ключевые слова: эдафические компоненты экосистем, донные отложения, вивианит, ватерит, р. Симми, Дальний Восток России.

Введение

Заповедник «Болоньский» относится к числу особо охраняемых водно-болотных угодий международного значения. Его территория (103,6 га) охватывает нижнюю часть бассейна р. Симми, малого притока Амура, и примыкающее побережье оз. Болонь (Дальний Восток, Россия). Существенным, во многом определяющим современное состояние экосистем заповедника, является пирогенный фактор — травяные палы высокой интенсивности и повторяемости в относительно сухие для данной территории периоды (весна и/или осень) [7]. В среднем раз в четыре года прогорает до 60% его площади. Для оценки экологического состояния природных территорий и влияния на него пирогенного фактора большое значение имеют исследования их эдафических компонентов, таких как речные донные отложения. Известно, что значительная часть продуктов «огневой» минерализации (Ca, Mg, K, N, P и др.) с выгоревшей территории вымывается и поступает в речные воды [15]. Повышенное содержание фосфат-ионов в речной воде с высокой концентрацией (гидрокси)оксидов железа и растворенного органического вещества может приводить к образованию вивианита ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) — лабильного компонента речных донных отложений. В результате этого процесса происходит секвестирование фосфора — одного

из основных биогенных элементов, вызывающего эвтрофикацию водоемов [20, 21].

Цель работы — изучение особенностей состава донных отложений (в первую очередь, лабильных компонентов) р. Симми, их зависимости от влияния пирогенного фактора. Это продолжение наших исследований Амура и его основных притоков [9, 12, 13]. В статье рассмотрены речные донные отложения одного из малых притоков Амура в пределах Среднеамурской низменности — р. Симми в ее приустьевой части.

Объекты и методы исследования

Работы проводились в нижнем течении р. Симми. Это северо-восточная часть Среднеамурской низменности с преобладающими абсолютными высотами 22—26 м. Территория сильно обводнена и заболочена, почти 80% площади занято болотами и заболоченными лугами. Климат района умеренно влажный, переходный от северного варианта муссонного к континентальному. В холодное время года господствуют континентальные полярные воздушные массы. Годовая амплитуда температур — 48—50°. В зимние периоды происходит сильное промерзание почв — до 2 м и глубже. Оттаивание продолжается до середины июня. Лето влажное, со средней температурой воздуха +20—+21°. На июль—сентябрь приходится 50—55% годовой

* Работа выполнена в рамках государственных заданий «Природные опасности и антропогенные преобразования экосистем муссонных областей Северо-Восточной Азии» (№ 115040910002) и «Структурно-функциональная организация твердой фазы почв: формирование, характеристики и роль в биосфере» (№ АААА-А16-116122810020-6). В настоящее время исследования поддержаны фондом РФФИ в рамках международного проекта BRICS2019-243.

суммы осадков (400—500 мм) [6]. Почвенный покров представлен почвами болотного, лугового и пойменного рядов [10]. Основные типы растительности — болотный и луговой с вейниковыми, вейниково-осоковыми, вейниково-разнотравными и разнотравными ценозами. Основу гидрографической сети составляют реки Симми и Сельгон с притоками и пойменное оз. Болонь, остаточный элемент древнего русла Амура [1]. С современным руслом Амура озеро соединено протокой Сий (рис. 1, *а*). Довольно широкая (до 2—3 км) пойма р. Симми изобилует протоками и озерами. Почти ежегодно она затапливается дождевыми паводками, обусловленными как выпадением осадков (летне-осенние муссонные дожди) в пределах водосбора реки, так и притоком паводочных вод из Амура. Периодические паводки на Амуре вызывают

резкое повышение уровня оз. Болонь, в результате чего скорость р. Симми падает вплоть до полной остановки.

Объект изучения — донные отложения приустьевой части р. Симми, которая включает прирусловое оз. Килтасин и пр. Ерсуйн, соединяющую его с оз. Болонь. Озеро Килтасин расположено в русле Симми, имеет водное зеркало в период среднего и высокого уровня воды, при низком уровне вода занимает лишь русловую часть (рис. 1, *б*). Отбор проб проведен в июле 2019 г. после весеннего пожара (март—апрель), поскольку наибольшее содержание биогенных элементов в почве и речных водах наблюдается в первые три—четыре месяца после него. Через два—четыре года их содержание падает и приближается к фоновым значениям [15]. Во время отбора проб на р. Симми наблюдался эф-

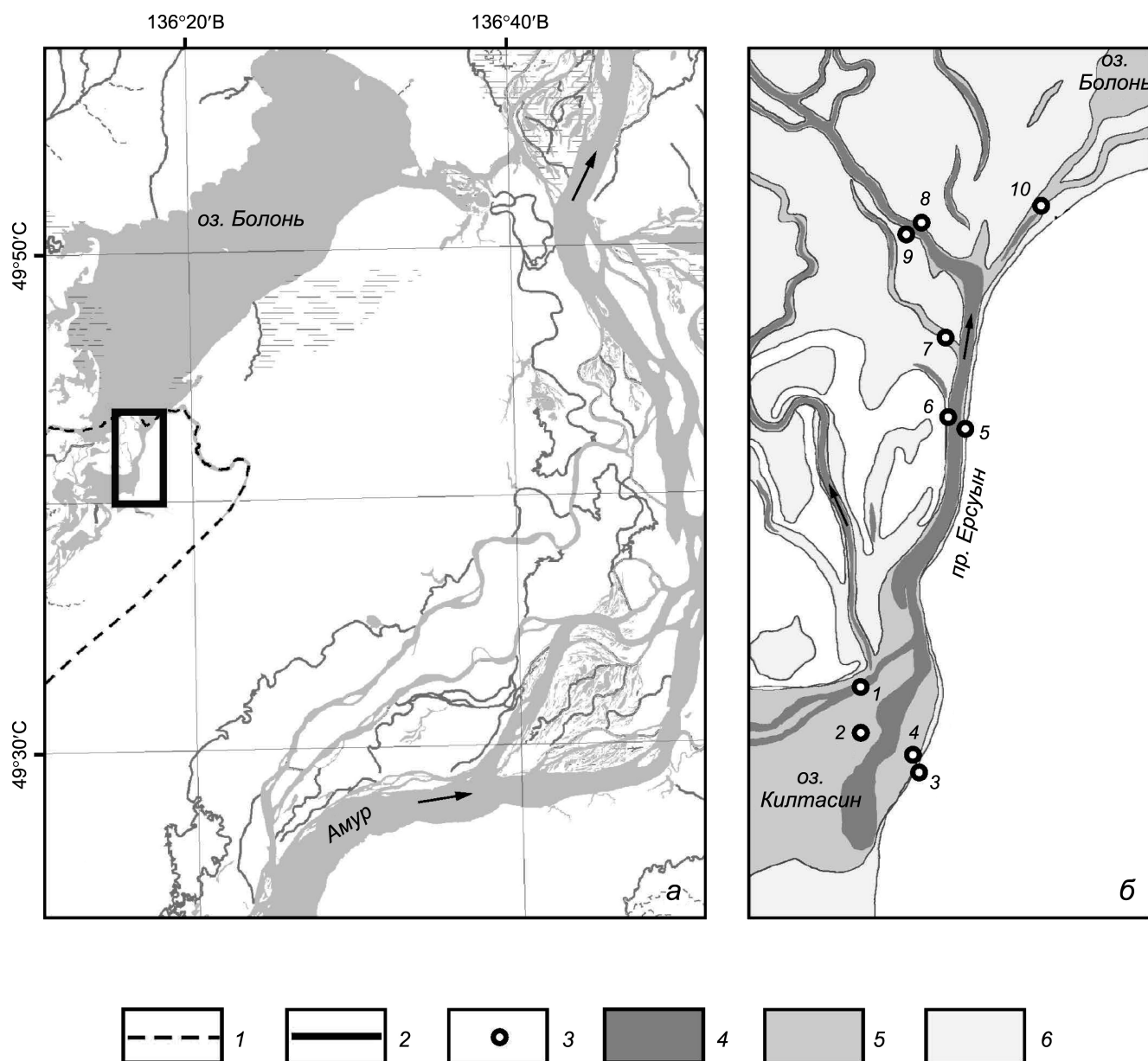


Рис. 1. Карта-схема расположения участка (*а*) и точек отбора образцов (*б*): 1 — граница заповедника «Болоньский», 2 — граница участка отбора, 3 — точки отбора, 4—6 — уровень воды в приустьевой части р. Симми (низкий — май 2018 г., средний — июль 2019 г., высокий — август—сентябрь 2018 г. соответственно)

фект обратного течения: водные массы из оз. Болонь поступали через пр. Ерсуйн в оз. Килтасин. Последнее связано со сгонно-нагонным ветровым явлением на оз. Болонь и высоким уровнем воды в Амуре. Всего было отобрано десять образцов в следующих местах:

точка 1 — 40 м от левого берега оз. Килтасин, в пределах его глубоководной части, постоянно заполненной водой, глубина в точке отбора — 2,5 м;

точка 2 — центр оз. Килтасин, в пределах его наиболее мелководной части, глубина — 1 м;

точка 3 — 60 м от правого берега оз. Килтасин, в пределах небольшой ложбины стока его мелководной части, глубина — 2,5 м;

точка 4 — устье безымянного заболоченного ключа, впадающего в оз. Килтасин, глубина — 1,8 м;

точка 5 — 4 м от правого берега, средняя часть пр. Ерсуйн в пределах ее глубоководной части, глубина — 2,5–3 м;

точка 6 — 20 м от левого берега, средняя часть пр. Ерсуйн, в пределах ее мелководья, глубина — 1,5 м;

точка 7 — мелководный зарастающий водной растительностью залив безымянной старицы протоки, центральная часть пр. Ерсуйн, глубина — 1 м;

точка 8 — 2 м от правого берега пр. Ерсуйн, в пределах ее глубоководной части, глубина — 2,5 м;

точка 9 — 10 м от левого берега пр. Ерсуйн, в пределах ее мелководной части, глубина — 1,5 м;

точка 10 — пределы мелководного и зарастающего водной растительностью старого русла пр. Ерсуйн, глубина — 1 м.

Для сравнения использовали данные 2018 г. [17], соответствующие остаточному влиянию обширного пожара 2016 г. (осень), который прошел 80% территории заповедника. Пожар 2019 г. был менее интенсивным и затронул главным образом правобережье р. Симми. Отбор проб в 2018 г. (май) проходил в период аномально низкого уровня воды (по опросным данным, так как отсутствуют гидрологические посты), в 2019 г. (июль) — уровень воды средний.

При отборе использовали стандартное оборудование и методики [5, 8]. Основные методы исследования — гранулометрический и валовой химический анализы, растровая электронная микроскопия (РЭМ) — дополнены стандартными физико-химическими методами [2, 11, 14]. Гранулометрический состав определяли методом седиментации (распределение по массе) по Качинскому, микроагрегатный — методом лазерной дифракции (распределение по объему) [18]. Лазерную дифрактометрию образцов проводили на анализаторе размера частиц SALD-2300 (проточная ячейка) (SHIMADZU, Япония). Для этого водную суспензию образца (навеска зависит от абсорбции полученной суспензии и в среднем составляет от 0,5 до 1 г) перед анализом в течение 10 с обрабатывали ультразвуком

Таблица 1

**Физико-химическая характеристика
донных отложений р. Симми**

Точка отбора	pH _{вод}	pH _{сол}	ρ , г/см ³	S, м ² /г	C, %
1	6,8	4,9	2,61	9,2	0,67
2	5,7	4,1	2,42	6,8	0,52
3	5,5	4,1	2,56	4,2	0,86
4	5,6	3,8	2,40	17,9	2,01
5	5,2	5,0	2,54	10,9	1,00
6	5,2	4,6	2,66	9,1	1,26
7	5,2	4,2	2,52	10,8	2,34
8	5,0	4,2	2,64	4,5	0,43
9	5,3	4,7	2,45	6,0	0,47
10	5,2	4,2	2,63	7,6	1,07

Примечание. — плотность твердой фазы, S — удельная поверхность по N₂, C — содержание углерода во фракции < 0,25 мм.

(встроенный ультразвуковой диспергатор для гомогенизации проб). РЭМ-анализ проведен с использованием VEGA 3 LMH (TESCAN, Чешская республика). Для съемки образцы (предварительно растертые и просеянные через сито 2 мм) подготавливали методом просыпки, напыление — Pt, увеличение — до 20 000. Для анализа фаз с высоким атомным числом дополнительно к детектору вторичных электронов (SE-детектор) использовали детектор обратно рассеянных электронов (BSE-детектор). При получении изображений с помощью BSE-детектора фазы с высоким значением среднего атомного числа отражаются в контрасте более ярко по сравнению с фазами с меньшим атомным числом. Для анализа элементного состава наиболее репрезентативных участков использовали энергодисперсионный спектрометр X-max 80 (Oxford Instruments, Великобритания). РЭМ и рентгенофлуоресцентный (РФ) анализы выполняли в аналитическом центре ИТИГ ДВО РАН (Хабаровск). Удельную поверхность определяли методом низкотемпературной адсорбции азота на анализаторе удельной поверхности серии СОРБОМЕТР-М [4], C_{орг} — методом кулонометрического титрования в токе кислорода на экспресс-анализаторе углерода АН-7529-М (Гомель, Беларусь) [4]. Краткая физико-химическая характеристика образцов представлена в табл. 1.

Результаты и их обсуждение

Анализ особенностей состава донных отложений (и в первую очередь их лабильных компонентов) предварим данными гранулометрического состава, который характеризует не только условия

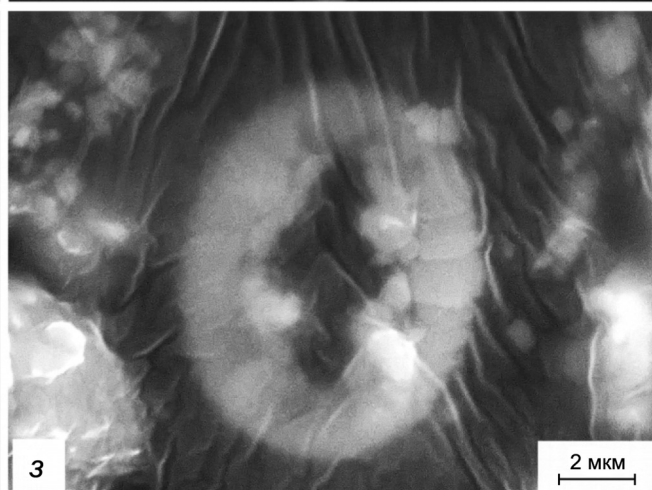
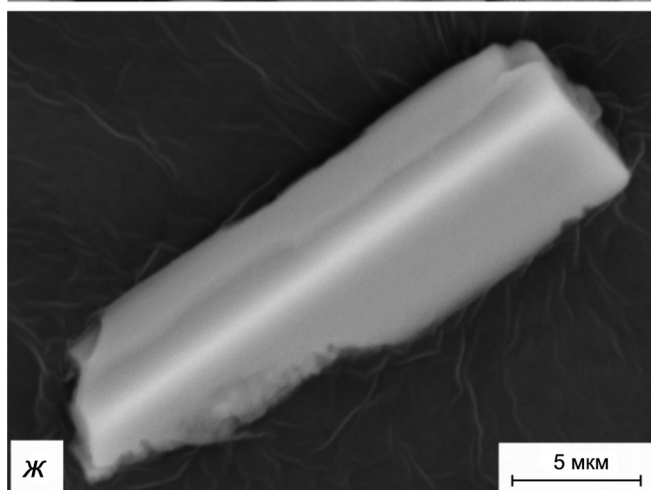
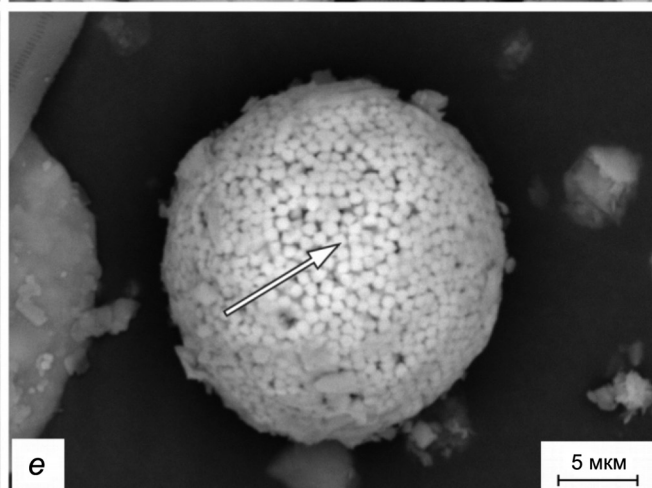
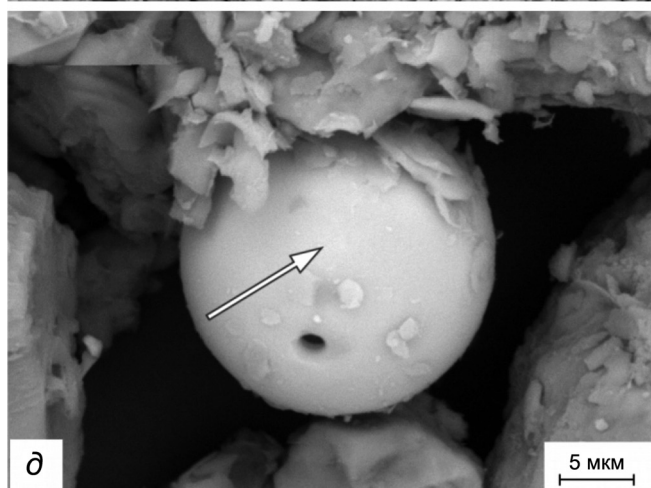
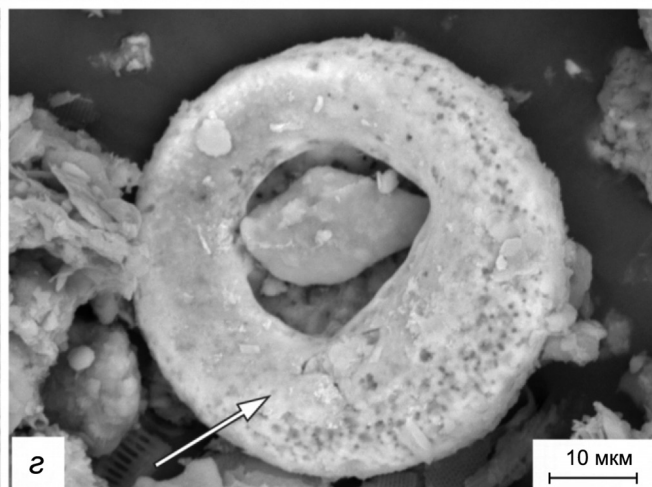
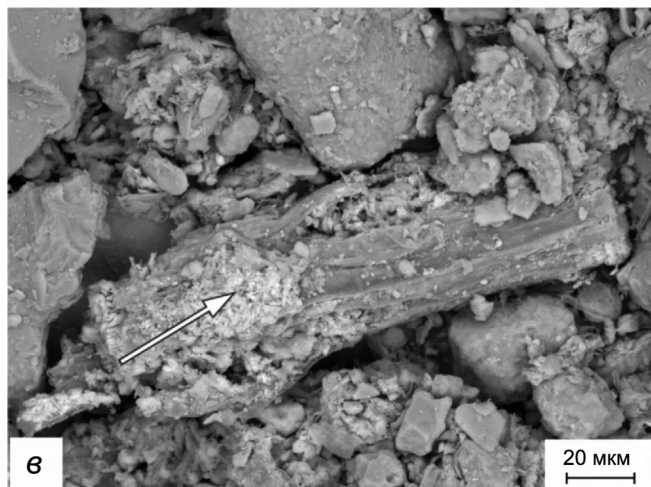
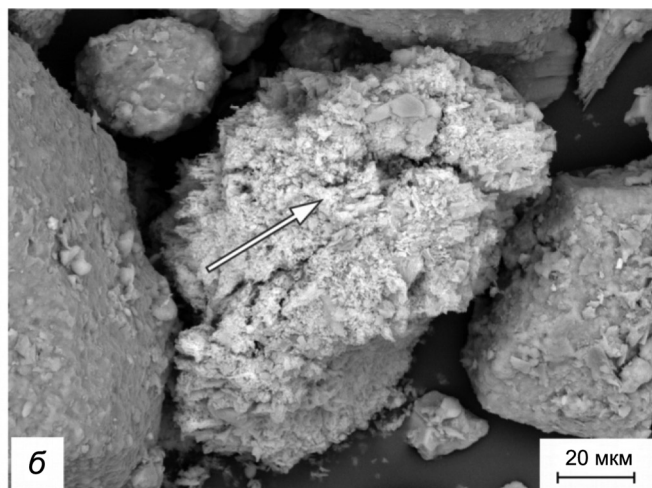
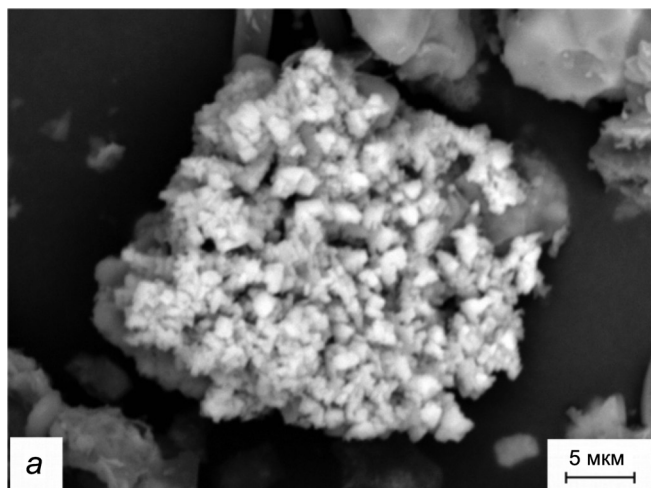


Таблица 2

Распределение частиц в донных отложениях р. Симми, %

Точка отбора	Размер фракций, мм							
	< 0,1*	< 0,01	< 0,001	0,001—0,005	0,005—0,01	0,01—0,05	0,05—0,25	0,25—1
1	69,3	22,75	6,48	13,27	3,00	21,18	53,75	2,32
2	43,2	23,91	4,57	3,82	15,52	15,81	59,44	0,84
3	24,1	15,23	4,32	1,98	8,93	8,69	37,34	38,74
4	90,4	46,27	26,35	15,07	4,85	27,79	25,89	0,05
5	63,8	18,16	13,02	2,97	2,17	29,73	50,14	1,97
6	71,5	14,79	5,72	7,84	1,23	35,52	48,03	1,66
7	75,5	17,50	9,72	2,40	5,38	54,73	27,29	0,48
8	51,3	10,01	4,52	4,91	0,58	13,24	74,73	2,02
9	58,1	17,13	2,04	3,68	11,41	18,56	62,08	2,23
10	60,6	19,41	5,28	6,29	7,84	27,28	50,86	2,46

*Взвешенные наносы, микроагрегатный состав (метод лазерной дифрактометрии).

аккумуляции наносов и способность их к переносу водным потоком, но и реальные и возможные процессы накопления тех или иных веществ, поступающих с территории водосбора [16]. Согласно полученным данным (табл. 2), отложения р. Симми в приустьевой части представлены главным образом мелкоземом (размер частиц < 2 мм) с высокой долей (до 90%) взвешенных наносов (размер частиц < 0,1 мм). Последнее связано с озерно-аллювиальным генезисом отложений исследуемой территории. Приустьевые валы и релки сложены глинистыми и песчаными отложениями, остальная часть низменности — плотными и водонепроницаемыми глинами [3]. Содержание взвешенных наносов в средней части пр. Ерсун (точки 5 и 6 — 64—72%) соответствует таковому в донных отложениях русловой части оз. Килтасин (точка 1 — 69%). Некоторое накопление взвешенных наносов, преимущественно за счет фракции крупной пыли, происходит в зарастающей протоке (точка 7 — 76 и 55% соответственно). Дополнительная аккумуляция наносов в протоке происходит при ежегодных паводках на Амуре, когда затопливается пойма по всему нижнему течению Симми. Мелководные участки оз. Килтасин (точки 2 и 3) осушаются при низком уровне воды (рис. 2). За счет выноса водным потоком содержание взвешенных наносов в них невелико (20—40%), отложения преимущественно песчаные. Повышение скорости потока в точках 8 и 9 по сравнению с точками 5 и 6 приводит к некоторому снижению в отложениях взвешенных частиц (51—58%).

Валовой анализ показал (табл. 3), что донные отложения приустьевой части р. Симми характеризуются повышенным содержанием железа (до 6% в пересчете на Fe_2O_3) и фосфора (до 2200 мг/кг в пересчете на P_2O_5). Кроме того, присутствие органических веществ (до 2,3%) позволяет предполагать образование в отложениях вивианита ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) — лабильного компонента речных донных отложений [20, 21].

Электронно-микроскопический анализ отложений показал, что повышенное содержание железа связано не только с кластогенными зёрнами акцессорных минералов, содержащими железо, таких как ильменит и др., но и с глинисто-железистыми микроагрегатами (рис. 2, а). Хорошо известно, что (гидроксид)оксиды $\text{Fe}(\text{III})$ играют важную роль в образовании вивианита. Поскольку эти соединения эффективно осаждают фосфат-ионы, подвержены микробному и химическому восстановлению, служат источником для Fe^{2+} и ортофосфата, то они могут выступать в качестве прекурсора фазы вивианита [20].

Во всех точках отбора именно в составе глинисто-железистых микроагрегатов зафиксировано образование вивианита (рис. 2, б). Согласно анализу элементного состава (метод энергодисперсионной спектроскопии), атомное отношение $\text{Fe}:\text{P}$ в вивианит-глинистых микроагрегатах составляет 3:2. Максимальное количество подобного рода микроагрегатов, как и образование вивианита на растительных остатках (рис. 2, в), диагностировано в точке 7 — это донные отложения зарастающе-

Рис. 2. Микрофотографии донных отложений приустьевой части р. Симми: а — железисто-глинистые микроагрегаты; б — вивианит-глинистые микроагрегаты; в — выделения вивианита на органических остатках; г — раковинные амёбы; д — цисты золотистых водорослей; е — фрамбоидный пирит; ж, з (образцы 2018 г.) — гипс и тороидный ватерит соответственно (РЭМ, BSE-детектор)

Т а б л и ц а 3

Валовой состав донных отложений р. Симми, %

Точка отбора	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	S
										мг/кг	
1	68,05	0,48	10,54	3,60	0,09	1,05	1,01	2,88	2,51	1030	200
2	70,37	0,40	10,06	3,63	0,08	1,02	0,71	2,97	2,64	1680	290
3	72,98	0,42	9,96	2,86	0,06	0,69	0,74	2,48	2,85	1320	220
4	59,02	0,74	11,79	3,92	0,05	0,71	0,95	1,89	2,07	1000	180
5	64,32	0,54	10,98	4,75	0,11	0,95	0,94	2,41	2,6	1720	390
6	65,63	0,50	10,69	4,49	0,11	1,07	0,84	2,84	2,45	1520	350
7	62,09	0,59	10,46	5,76	0,13	0,98	0,91	2,37	2,21	1470	300
8	71,42	0,43	10,57	3,21	0,08	0,97	0,74	2,97	2,74	990	180
9	69,85	0,43	10,58	3,24	0,08	0,97	0,77	2,96	2,71	860	180
10	69,43	0,48	10,25	3,83	0,08	0,89	0,75	2,77	2,64	2200	580

го водной растительностью залива центральной части пр. Ерсун. Вивианит образуется и на поверхности раковинных амёб (рис. 2, *г*: предположительно семейство Arcellidae [19]), и на цистах золотистых водорослей (рис. 2, *д*) при соотношении Fe : P равном 10 : 1. Несколько меньшее количество вивианит-глинистых микроагрегатов в точке 5 связано с присутствием в отложениях сульфат-ионов и сульфатредуцирующих бактерий и образованием фрамбоидного пирита (FeS_n) (рис. 2, *е*). Рост скорости потока в точках 8 и 9 приводит как к значительному уменьшению содержания фазы вивианита (числа вивианит-глинистых микроагрегатов) в отложениях, так и соотношения в них Fe : P до 10 : 1.

Полученные нами данные свидетельствуют о двух механизмах образования вивианита в донных отложениях при повышенном содержании фосфат-ионов. Во-первых, образование вивианита происходит на поверхности железисто-глинистых микроагрегатов за счет восстановления (гидроксид)оксидов Fe(III) в присутствии растворимого органического вещества и, во-вторых, на биологических темплатах (органические остатки, одноклеточные микроорганизмы).

Обнаружение вивианита в поверхностном слое отложений свидетельствует о недавнем его образовании. Обычно технические проблемы затрудняют прямую идентификацию вивианита в донных отложениях. Для его определения используют различные методы мацерации, в том числе тяжелые жидкости [20]. В нашем случае определение проводилось без специальной подготовки образцов. Поэтому с большой долей вероятности триггером образования вивианита в донных отложениях следует считать повышенное содержание в речной воде фосфат-ионов, поступающих с территории водосбора в результате пожаров. Отметим, что в об-

разцах 2018 г. (на третий год после пожара 2016 г.) вивианит в отложениях обнаружен не был, что может свидетельствовать о подвижности новообразований в водном потоке и резком снижении его концентрации в донных отложениях.

Помимо вивианита (фосфат железа), в донных отложениях р. Симми диагностированы фосфаты редкоземельных элементов иттриевой (Y, La, Gd—Lu) и цериевой (Ce—Eu) подгрупп — акцессорные минералы, характерные для всего бассейна р. Амур. В отложениях также присутствует малорастворимый в воде фторапатит — Ca₅(PO₄)₃(F, Cl, OH). При аномально низком уровне воды в р. Симми (2018 г.) в пр. Ерсун зафиксировано образование не характерных для донных отложений гумидной зоны микрокристаллов гипса (CaSO₄ · 2H₂O) и мезокристаллов ватерита (CaCO₃) — прекурсора кальцита, термодинамически нестабильной полиморфной модификации карбоната кальция (рис. 2, *ж* и *з* соответственно). В то же время при среднем уровне воды (2019 г.) проявлений ни гипса, ни ватерита в отложениях протоки не обнаружено, причиной чего может быть их малый размер — < 25 мкм. Известно, что во взвешенном состоянии частицы размером < 100 мкм могут переноситься на большое расстояние — это транзитная составляющая речных наносов.

Заключение

Исследования вещественного состава донных отложений приустьевых участков р. Симми показали, что в результате пожаров и поступления с выгоревшей территории в речные воды продуктов «огневой» минерализации (Ca, Mg, K, N, P и др.) в их поверхностном слое происходит образование вивианита (Fe₃(PO₄)₂ · 8H₂O). Его новообразования диагностированы после весеннего пожара (март—апрель 2019 г.), в период максимального

поступления в речные воды фосфат-ионов (первые месяцы после пожара), повышенное содержание которых в речной воде при высокой концентрации в отложениях (гидрокси)оксидов железа и растворенного органического вещества и приводит к образованию этого минерала.

Полученные нами данные свидетельствуют о двух механизмах образования вивианита в донных отложениях при повышенном содержании фосфат-ионов. Во-первых, оно происходит на поверхности железисто-глинистых микроагрегатов за счет восстановления (гидрокси)оксидов Fe(III) в присутствии растворимого органического вещества; во-вторых, на биологических темплатах — органических остатках, одноклеточных микроорганизмах (раковинные амёбы и цисты золотистых водорослей). В присутствии сульфат-ионов и сульфатредуцирующих бактерий связывание фосфат-ионов (гидрокси)оксидами Fe(III) снижается в результате конкурирующей реакции образования менее растворимого соединения — пирита (FeS_2).

При снижении поступления фосфат-ионов в речные воды (на третий год после интенсивного пожара 2016 г., когда огнем было пройдено почти 80% территории заповедника) вивианит в отложениях не обнаружен. Поскольку его растворимость крайне мала, причиной последнего следует

считать подвижность новообразований в водном потоке вследствие их малого размера (< 100 мкм). Во взвешенном состоянии частицы такого размера могут переноситься на большие расстояния, т.е. это транзитная составляющая речных наносов.

При аномально низком уровне воды в р. Симми (2018 г.) в пр. Ерсун зафиксировано образование не характерных для донных отложений гумидной зоны гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) и ватерита (CaCO_3) — прекурсора кальцита, термодинамически нестабильной полиморфной модификации карбоната кальция. При среднем уровне воды (2019 г.) проявлений ни гипса, ни ватерита в отложениях протоки не обнаружено. Причиной этого может быть также подвижность новообразований вследствие их малого размера (< 25 мкм).

Авторы выражают глубокую признательность ФГБУ «Заповедное Приамурье» и администрации Государственного природного заповедника «Болоньский» за техническую поддержку экспедиционных работ на его территории.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аваряский Л.П. Рельеф. Вопросы географии Приамурья. Нижнее Приамурье. Природа. Хабаровск, 1970.
2. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. М., 1973.
3. Геоморфологическая карта СССР масштаба 1:2 500 000. М., 1985.
4. Милановский Е.Ю., Хайдапова Д.Д., Поздняков А.И. и др. Практикум по физике твердой фазы почв. Тула, 2011.
5. Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 2, ч. II. Л., 1975.
6. Никонов И.И., Анисимова Л.Н. Амурский район. Нижнее Приамурье. Экономика. Вып. 2. Хабаровск, 1974.
7. Остроухов А.В., Климина Е.М., Купцова В.А. Ландшафтное картографирование труднодоступных территорий на примере Государственного природного заповедника «Болоньский» (Россия) // Заповедная наука. 2020. Т. 5, № 2.
8. Руководство по гидрологической практике. Л., 1975.
9. Сиротский С.Е., Харитонова Г.В., Ким В.И. и др. Гранулометрический и микроэлементный состав донных отложений реки Амур в среднем и нижнем течении // Тихоокеан. геол. 2014. № 3.
10. Соловьев В.С. К почвенному покрову и особенностям почвообразования Болоньского заповедника // Науч. исслед. природ. компл. Среднеамур. низменности. Хабаровск, 2006.
11. Теория и практика химического анализа почв. Чебоксары, 2006.
12. Харитонова Г.В., Остроухов А.В., Тюгай З. и др. Гранулометрический состав донных отложений р. Симми (заповедник «Болоньский») // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2019. № 4.
13. Чижикова Н.П., Сиротский С.Е., Харитонова Г.В. и др. Минералогический и микроэлементный состав тонкодисперсной части донных отложений р. Амур // Почвоведение. 2011. № 7.
14. Шеин Е.В., Милановский Е.Ю., Хайдапова Д.Д. и др. Практикум по физике твердой фазы почв. М., 2017.
15. Шешуков М.А., Савченко А.П., Пешков В.В. Лесные пожары и борьба с ними на севере Дальнего Востока. Хабаровск, 1992.
16. Förstner U., Wittmann G.T.W. Metal Pollution in the Aquatic Environment. Berlin, 1983.
17. Kharitonova G.V., Shein E.V., Krutikova V.O. et al. Secondary carbonates in edaphic components of ecosystems // Soil Physics. IOP Conf. Ser.: Earth and Environ. Sci. 2019. Vol. 368.
18. Rawl A. Basic principles of particle size analysis. Malvern Instruments Technical Paper MRK034.
19. Roe H.M., Patterson R.T., Swindles G.T. Controls on the contemporary distribution of lake thecamoebians (testate amoebae) within the Greater Toronto Area and their potential as water quality indicators // J. Paleolimnol. 2009. Vol. 43, N 4.
20. Rothe M., Frederihs T., Eder M. et al. Evidence for vivianite formation and its contribution to long-term phosphorous retention in recent lake sediment: a novel analytical approach // Biogeoscience. 2014. Vol. 11.

21. *Rothe M., Kleeberg A., Hupfer M.* The occurrence, identification and environmental relevance of vivianite in waterlogged soils and aquatic sediments // *Earth-Sci. Rev.* 2016. Is. 158.

Поступила в редакцию 10.04.2020

После доработки 12.04.2020

Принята к публикации 20.04.2020

LABILE COMPONENTS OF THE SIMMY BOTTOM SEDIMENTS ("BOLON'SKY" RESERVE)

G.V. Kharitonova, A.V. Ostrouhov, Z. Tjugaj, V.O. Krutikova

The composition of bottom sediments in the estuarine part of the Simmi River, a small tributary of the Amur River ("Bolon'sky" reserve, Far East, Russia) was studied using X-ray fluorescence, electron microscopic, and sedimentation analysis and laser diffractometry. It is shown that the formation of labile components of deposits (vivianite-clay microaggregates, gypsum microcrystals, vaterite mesocrystals) is associated with the influence of pyrogenic factor in its basin and the level regime of the main river. The reason for the mobility of formations is their small size — less than 100 microns. It is shown that deposits are formed mainly by suspended sediments (particle size less than 100 microns), which corresponds to the lake-alluvial genesis of the territory. Two mechanisms of vivianite formation in bottom sediments at elevated levels of phosphate ions in water after fires have been identified. The formation of vivianite occurs on the surface of ferruginous-clay microaggregates due to the reduction of Fe (III) in the presence of organic matter and on biological templates (organic residues, single-celled microorganisms).

Key words: edaphic components of ecosystems, bottom sediments, vivianite, vaterite, Simmy r., Russian Far East.

Сведения об авторах

Харитонов Галина Владимировна, докт. биол. наук, и.о. зав. лабораторией экологии почв Ин-та водных и экологических проблем ДВО РАН. *E-mail:* gkharitonova@mail.ru. **Тюгай** Земфира, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. каф. физики и мелиорации почв ф-та почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова. *E-mail:* zemfira53@yandex.ru. **Остроухов** Андрей Вячеславович, канд. геогр. наук, ст. науч. сотр. лаборатории оптимизации регионального природопользования Ин-та водных и экологических проблем ДВО РАН. *E-mail:* lorp@iver.as.khb.ru. **Крутикова** Валерия Олеговна, мл. науч. сотр. аналитического центра Ин-та тектоники и геофизики ДВО РАН. *E-mail:* nm32697@gmail.com.