

МИНЕРАЛОГИЯ И СОСТАВ ОТЛОЖЕНИЙ РЕКИ АМУР В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ
РЕКИ СУНГАРИ

*М.В. Шалдыбин^{1,2}, Г.В. Харитонова³, В.И. Ким³, Ю.М. Лопушняк¹, Е.В. Уткина³,
А.В. Дембовецкий⁴, Н.С. Коновалова⁵, А.В. Юдина⁴, С.А. Шмигирилов³*

¹ОАО ТомскНИПИнефть, пр-т Мира 72, г. Томск, 634027

²ФГАОУВО Национальный исследовательский Томский политехнический университет, пр-т Ленина 30,
г. Томск, 634050

³ФГБУН Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Ким Ю Чена 65,
г. Хабаровск, 680000; e-mail: gkharitonova@mail.ru

⁴ФГБОУВО Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Ленинские горы,
г. Москва, 119991

⁵ФГБУН Институт тектоники и геофизики ДВО РАН, Ким Ю Чена 65, г. Хабаровск, 680000

Поступила в редакцию 1 июня 2015 г.

Методами рентген- и лазерной дифрактометрии, рентген-флуоресцентного анализа, растровой электронной микроскопии и энергодисперсионного анализа был изучен состав донных отложений и наилок р. Амур от устья Сунгари до г. Хабаровска после экстремального наводнения 2013 г. Установлено, что состав, отсортированность и размер доминирующей фракции влекомых и взвешенных наносов Амура соответствует гидрологическим условиям исследуемого участка. Показано, что наилки экстремального наводнения 2013 г. и наилки периодов низкой водности Амура при существенно разной мощности характеризуются близким гранулометрическим, валовым и минералогическим составом. Сохранению близкого состава наилок способствует перенос их тонких фракций в относительно устойчивых микроагрегатах. Микроагрегированность наилок определяет их минералогический состав – преобладание в составе тонких фракций смешаннослойных иллит-сметитов. Последние образуют в присутствии оксидов железа достаточно устойчивые при транспортировке в водном потоке микроагрегаты. В образовании части микроагрегатов принимают участие диатомовые водоросли.

Ключевые слова: донные отложения, наилки, р. Амур, Дальний Восток России

ВВЕДЕНИЕ

Процессы формирования вещественного состава речных отложений представляют интерес как для решения фундаментальных проблем геологии, геохимии, палеогеографии и экологии, так и их отдельных вопросов [6, 13, 19]. При рассмотрении экологического состояния рек большое значение имеют исследования донных отложений и наилок [27, 29, 32]. Особенно это актуально для трансграничных рек с частыми высокими до катастрофических паводками, таких как р. Амур. В паводки на Амуре происходит основной перенос речных наносов. Важной особенностью Амура является их направленная аккумуля-

ция (накопление наносов в русле и пойме реки) [9]. Область направленной аккумуляции речных наносов Амура охватывает долину реки от впадения р. Сунгари до устья [10, 28]. Сунгари – самый крупный приток Амура. В отдельные годы ее сток превышает сток воды в Амуре (в месте впадения). Бассейн Сунгари характеризуется наибольшей в бассейне Амура антропогенной нагрузкой (влияние сельского хозяйства, промышленного загрязнения, разработка полезных ископаемых, строительство гидротехнических сооружений) и наибольшим выносом взвешенных веществ [31]. В паводки количество взвешенных веществ в реке достигает 1500 мг/дм³ и более. О масштабах вовлечения земель бассейна Сунгари в сельскохо-

зыйственное производство свидетельствует картографическая оценка пространственно-временной динамики земель, используемых под пашню и рисовники (рис. 1) [4].

Исследованию минералогического и вещественного состава твердого стока р. Амур было посвящено много работ [6, 13, 16, 18, 21, 22], большой вклад принадлежит российско-китайской Комплексной Амурской экспедиции под руководством В.А. Ковды (1953–1956 и 1956–1958 гг.) [8]. Было показано, что в бассейне Амура (в морфоскульптурном отношении весьма разнообразном – от сухих степей и полупустынь Приаргунья до горной тайги и горной тундры) преобладают гранитно-метаморфические породы и их осадочные производные с эпидот-роговообманковой ассоциацией аксессуарных минералов (гранат, циркон, сфен, анатаз, апатит и др.). Компоненты донных отложений Амура, образовавшиеся в самых различных условиях, неоднократно переотлагаются в процессе переноса, вовлекаясь в процессы диагенеза и почво-

образования в условиях поймы. В результате генетически разнородные взвеси объединяются по принципиально иным признакам – по размеру (гранулометрический и микроагрегатный состав) и плотности частиц.

Качественный анализ крупной фракции аллювия, проведенный Никольской В.В. [13], показал, что в легкой фракции минералов преобладают кварц и калиевые полевые шпаты, присутствуют плагиоклаз, биотит, мусковит. В тяжелой фракции преобладают роговая обманка и эпидот, много ильменита, присутствуют гранат, циркон, сфен, анатаз и др. Основную массу глинистых минералов амурского аллювия составляют гидрослюды. В работах последних лет с помощью методов полуколичественного рентгеноструктурного анализа было показано [22], что тонкодисперсные компоненты донных отложений (зон аккумуляции), наилок поймы и поверхностных горизонтов почв водосбора имеют сходный состав минералов.

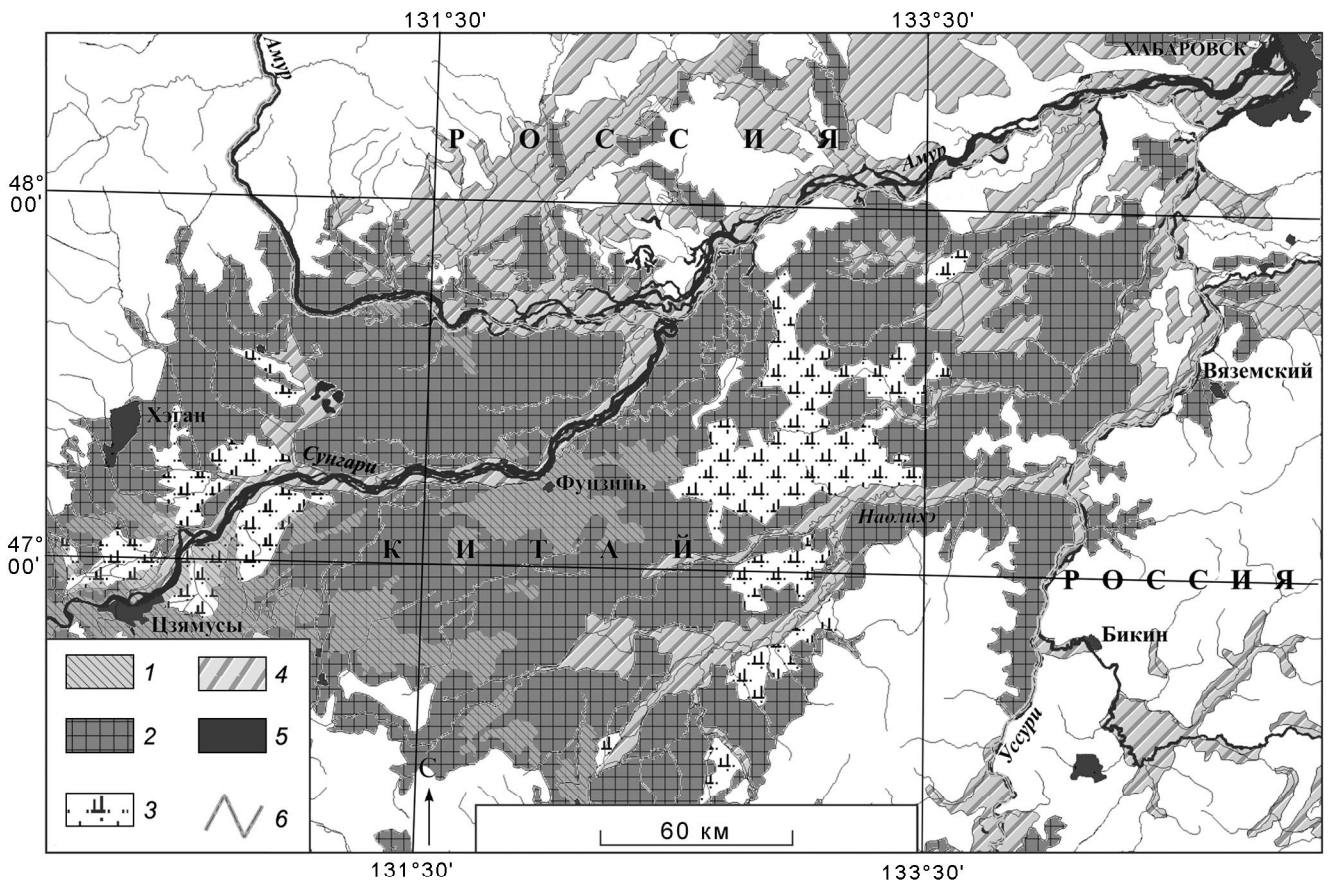


Рис. 1. Карта-схема пространственно-временной динамики роста площадей сельскохозяйственных земель на Санызьянской равнине и Среднеамурской низменности (1930–2001 гг.).

1–3 – на 2000–2001 гг.: 1 – пашня, 2 – рисовники, 3 – водно-болотные угодья; 4 – пашня 1930–1940 гг.; 5 – населенные пункты; 6 – государственная граница [4].

Цель работы – исследование особенностей минералогического и вещественного состава донных отложений и наилок реки Амур в зоне влияния его основного притока р. Сунгари после экстремального наводнения 2013 г. Работа является продолжением исследований авторами экосистемы р. Амур [16, 18, 21–23]. Ранее для области современной направленной аккумуляции наносов было отмечено существенно большее сходство тонкодисперсных фракций донных отложений с взвешенными веществами р. Сунгари и наилками поймы, чем с почвами водосбора и взвешенными веществами р. Амур. В данной работе основное внимание было уделено анализу и детализации состава наиболее отсортированных влекомых (донные отложения, середина реки) и взвешенных (наилки) наносов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Работы проводились на равнинной части бассейна Среднего Амура. Река Амур относится к дальневосточному типу рек, для которого характерно резко выраженное преобладание дождевого стока (60–80 % годового стока воды) над снеговым и грунтовым, что обусловлено особенностями климата. Климат территории формируется под сильным воздействием океанических факторов [14]. Во второй половине лета – начале осени теплые и влажные тропические массы достаточно глубоко проникают вглубь континента, обуславливая обильные, порой катастрофические осадки. Они, в свою очередь, вызывают высокие (до катастрофических) паводки. Паводки Амура формируются в различных областях бассейна реки.

Большая площадь водосбора (1.86 млн км²), расположение крупных притоков в различных частях бассейна, локальность выпадения осадков и их большая интенсивность являются причиной существования на Амуре четырех отдельных очагов формирования наводнений: Верхнеамурский, Зейско-Буреинский, Сунгарийский и Уссурийский. Каждый из выделенных очагов способен вызвать большие наводнения. Особенно мощные паводки формируются, если они возникают в двух или трех очагах и совмещаются в русле Амура.

Паводок 2013 г. стал экстраординарным: высокие дождевые паводки последовательно сформировались во всех четырех очагах [5, 7]. Основной паводок с западной части бассейна (реки Шилка и Аргунь, Верхнеамурский очаг), смещаясь на восток, на максимуме принимал паводки очагов восточной части бассейна (Зейско-Буреинский, Сунгарийский и Уссурийский). Сток Верхнего и Среднего Амура до впадения Сунгари не превышал уровней исторических максимумов. Паводок шел, практически совпадая по

уровням воды с предыдущим катастрофическим паводком 1984 г. Ниже впадения р. Сунгари, в бассейне которой осадки были наиболее интенсивными, максимальные отметки превысили исторические максимумы на 0.40–2.11 м. Продолжительность затопления поймы на глубины 2–4 м составила от двух до трех месяцев. В районе Хабаровского водного узла (г. Хабаровск) максимальный уровень паводка и глубина затопления поймы составили 8.08 м (превышение уровня над историческим 1897 г. – 1.66 м) и 5.08 м, соответственно [7].

В русле Амура ниже впадения р. Сунгари в пределах Среднеамурской низменности выделяется несколько пойменных расширений (Хабаровское, Тунгусское, Елабужское, Анной-Малмыжское, Диппинское) с последующими сужениями, которые являются зонами аккумуляции речных наносов. В сужениях пропускная способность русла резко падает, увеличивается высота паводочной волны. В расширениях скорость движения паводочной волны снижается, происходит аккумуляция наносов. Первое расширение, Хабаровское – Хабаровский водный узел, начинается от истока протоки Казакевича и заканчивается сужением в районе Хабаровского железнодорожного моста (рис. 2). Амур на этом участке характеризуется широкой (около 20 км) поймой, в пределах которой сформировалось многорукавное русло. Ниже и выше по течению пойма имеет значительно меньшую ширину. Участок этого расширения можно считать первой зоной аккумуляции после впадения Сунгари [28].

Объектом изучения являлись донные отложения и наилки Амура. Отбор проб проводился на участке от устья р. Сунгари до г. Хабаровска в течение летне-осеннего периода 2014 г. (рис. 2). Образцы донных отложений отбирали на участке впадения р. Сунгари – выше и ниже устья (т. 707 и 708, координаты 47°42.423' N 132°10.880' E и 47°54.826' N 132°39.995' E, соответственно) и в первой после впадения Сунгари зоне аккумуляции – 3-й км, Средний Амур (т. 709, 48°26.308' N 135°02.397' E), Амурская протока (т. 710, 48°27.194' N 134°57.696' E). Наилки отобраны на пойменных островах в истоке проток Бешеная (т. 713, 48°27.382' N 135°04.643' E) и Пемзенская (т. 714, 48°26.299' N 134°53.414' E). Дополнительно были отобраны образцы отложений пойменных островов (т. 711 и 712, 48°27.209' N 135°04.270' E и 48°27.196' N 134°57.757' E, соответственно).

При выполнении гидрологических работ использовали стандартные оборудование и методики [12, 15]. В основу исследования положены минералогический, гранулометрический и валовой анализы. Минералогический состав определяли в образцах отложений в целом и в их илистой фракции (< 2 мкм) [30]. Для определения

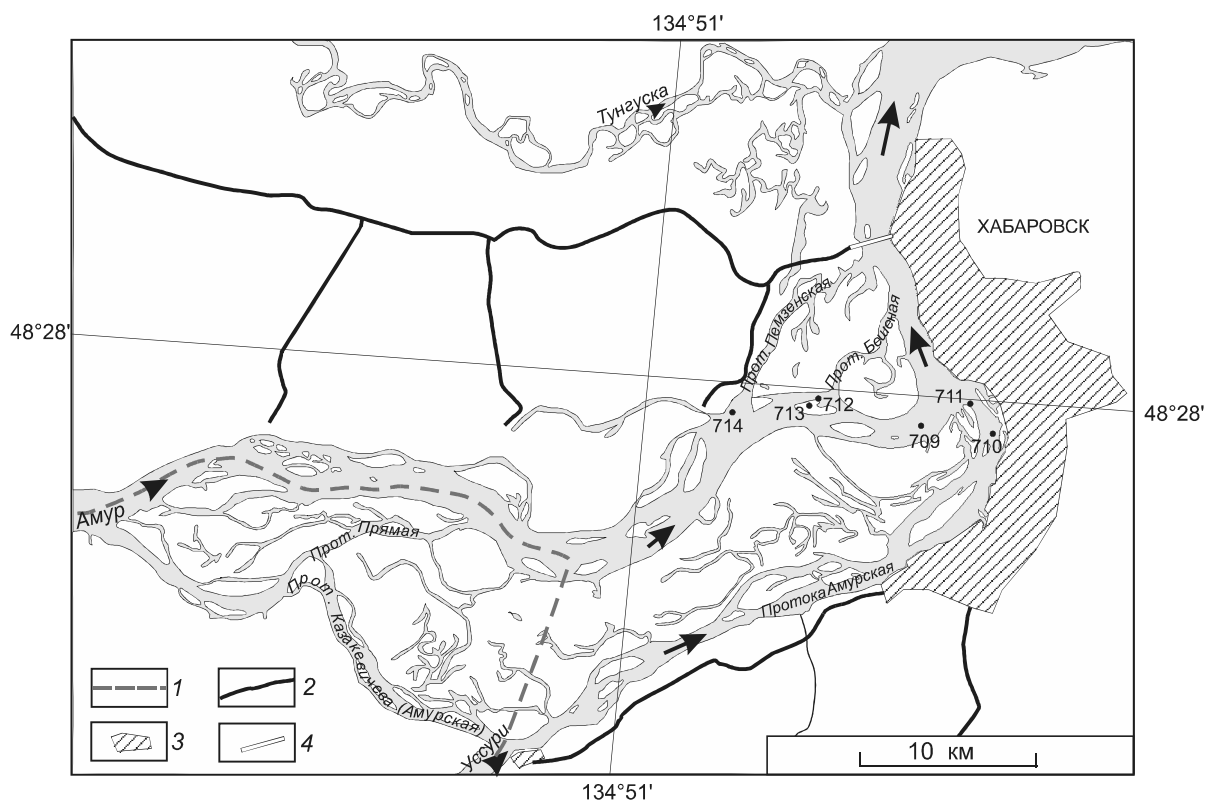


Рис. 2. Карта-схема мест отбора образцов в Хабаровском расширении р. Амур.

1 – государственная граница, 2 – автомобильные дороги, 3 – населенные пункты, 4 – железнодорожный мост.

минералов использован рентгеновский дифрактометр «RIGAKU ULTIMA IV» (Rigaku Corporation, Япония). Съемка рентгенограмм – в геометрии Брега-Брентано. Параметры съемки: анод Cu, напряжение рентгеновской трубки 40 кВ, ток 30 мА, мощность 1.2 кВт. Углы съемки (2θ) от 3° до 90° при анализе образцов в целом и до 65° при анализе илистой фракции. Скорость съемки $1^\circ/\text{мин}$ с шагом 0.02° . Подготовка образцов к рентгенодифрактометрическому анализу включала дробление (щелевая дробилка «Pulverisette 1», FRITTSCH, Германия) и измельчение (прецизионная планетарная микромельница «Pulverisette 6», FRITTSCH, Германия). Полученный порошок запрессовывали в специальные кюветы. Препараты илистой фракции запрессовывали без измельчения, снимали в воздушно-сухом (20°C) состоянии и после насыщения этиленгликолем. Для количественного расчета минерального состава использовали программу SiroQuant [23]. Минимальная доля определяемого минерала 1 %, погрешность определения составила 5–10 отн. %.

Рентген-дифрактометрическое определение минералогического состава исследуемых образцов и их илистых фракций было дополнено электронно-микроскопическими исследованиями (РЭМ анализ). РЭМ анализ проводили на растровом электронном

микроскопе VEGA 3 (TESCAN, Чешская Республика). Для съемки образцы (предварительно растерты и просеяны через сито 2 мм) были подготовлены методом просыпки, напыление – Pt, увеличение – до 20000. Для анализа фаз с высоким атомным числом дополнительно к детектору вторичных электронов (SE-детектор) был использован детектор обратно рассеянных электронов (QBS-детектор). При получении изображений с помощью QBS-детектора фазы с высоким средним атомным числом отражаются в контрасте более ярко по сравнению с фазами с меньшим атомным числом. Для анализа элементного состава наиболее репрезентативных участков использовали энергодисперсионный спектрометр «INCA Energy 350», Oxford, Великобритания (PCMA анализ).

Гранулометрический и микроагрегатный состав отложений определяли лазерно-дифрактометрическим методом на приборе FRITTSCH Analisette 22 с предварительной обработкой образцов ультразвуком в дистиллированной воде с помощью ультразвукового диспергатора BRANSON 250 W 20кГц [11] и на дифрактометре SALD-2300 (SHIMADZU, Япония) – анализ распределения частиц по размерам < 0.25 мм и < 2 мм, соответственно. Оценку отсортированности отложений проводили по интенсивности пиков и их

ширине на половине высоты (полуширина пика) на дифференциальных кривых распределения [30]. Валовой состав (макро- и микроэлементы) воздушно-сухих образцов определяли рентген-флуоресцентным методом (Pioneer S4, Bruker AXS, Германия). Аналитические работы были проведены в лаборатории седиментологии ТомскНИПИнефть (г. Томск), Аналитическом центре ИТиГ ДВО РАН, лаборатории экологии почв ИВЭП ДВО РАН (г. Хабаровск) и на кафедре физики и мелиорации почв факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова (г. Москва).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ данных гранулометрического состава речных отложений предварим обоснованием выбора объектов исследования и использованных методов анализа. Донные отложения рек – это «закрепленные» на дне и подводных склонах наносы. В составе русловых отложений преобладают относительно крупные частицы – галька, гравий, песок. Донные отложения зон аккумуляции формируются в основном более мелкими частицами – песок, пыль, ил. За границу размеров частиц между русловой и транзитной (бассейновой) составляющими наносов обычно принимают размер частиц ~ 100 мкм [1, 17, 20]. Глинисто-алевритовый материал, переносимый рекой во взвешенном состоянии, в паводки отлагается на пойме в виде наилок. Непостоянство режима уровней Амура, скоростей течения и режима твердого стока обуславливает слоистость и микрослоистость его аллювия. Именно поэтому для получения более достоверной информации о направленности возможного изменения минералогического и вещественного состава донных отложений и наилок р. Амур в зоне влияния его основного притока р. Сунгари в работе рассмотрены крайние члены ряда – донные отложения русла (середины реки) и наилки. Отложения были проанализированы соответствующими размерам частиц методами. Отложения русла, представленные преимущественно частицами первичных минералов размером более 0.25 мм, проанализированы лазерно-дифракционным методом без предварительных воздействий, глинисто-алевритовые по составу наилки дополнительно были проанализированы после обработки ультразвуком.

Как показал анализ (табл. 1, рис. 3 а, б), гранулометрический состав отложений русла на исследуемом участке представлен фракциями песка. Распределение частиц по размерам и отсортированность отложений закономерно изменяются вниз по продольному профилю реки. Так, на участке впадения Сунгари (тт. 707 и 708) доминирует с содержанием до 70 % фракция крупного песка (500–1000 мкм). Интенсивность пика фракции на дифференциальных кривых составила

14.6 %, полуширина пика – 0.36 (в логарифмических координатах). Ниже по продольному профилю реки, у г. Хабаровска, с уменьшением уклона и скорости течения реки размер доминирующей фракции уменьшается до размера среднего песка в 250–500 мкм (рис. 4 а, б). При близком содержании фракции (~70%) отсортированность ее выше (интенсивность и полуширина пика – 19–20 % и 0.26, соответственно). Преимущественной фракцией отложений пойменных островов (тт. 711 и 712) является фракция уже мелко-го песка (100–250 мкм), ее содержание составляет от 50 до 70% (интенсивность и полуширина основного пика – 8.3–13.8 % и 0.31–0.62, соответственно).

Наименьшей отсортированностью и размером доминирующей фракции (рис. 3 в и рис. 4 в) отличаются наилки. Для них основной является фракция крупной пыли (10–50 мкм), вклад которой составляет от 37 до 46 % (табл. 1). Ей сопутствует фракция тонкого песка (50–100 мкм). Суммарное содержание обеих фракций достигает 65–70 %. На дифференциальных кривых (рис. 3 в–е) отмечается один пик с максимумом для частиц размера 55–70 мкм невысокой интенсивности в 4–6 % и полушириной пика – 0.8–1.1. Следует отметить близкий гранулометрический состав наилок трех последовательных лет отложения (2012–2014 гг.). Наилки 2013 г. отличаются лишь несколько большей отсортированностью, что связано с высокой длительностью стояния воды в пойме.

Данные распределения частиц по размерам для наилок четко подтверждают транзитный характер их перемещения. Содержание частиц < 100 мкм составляет 80 % и выше. При этом, что крайне важно для характеристики взвешенных наносов Амура и дальнейших выводов работы, перенос тонких фракций наилок осуществляется, как показал РЭМ анализ, в микроагрегатах (рис. 4 г). Микроагрегаты сложно организованы согласно числу, размеру и составу входящих в микроагрегаты частиц. Средний размер микроагрегатов в 55–70 мкм соответствует наиболее представительной фракции микроагрегатного состава (рис. 3 в). Содержание железа в микроагрегатах достигает 1.0–1.5 ат. % (РСМА анализ). Встречаются также «ажурные» глинисто-железистые микроагрегаты с содержанием железа до 15 ат. % (рис. 4 д). В агрегации глинистых частиц и образовании части микроагрегатов принимают участие диатомовые водоросли (рис. 4 е–з). Полисахариды их пектинового покрытия являются агрегирующим глинистые минералы агентом. Кроме того железо, которым богаты наилки, является одним из основных (после Si и N) регуляторов роста диатомей [24–26].

Обработка образцов ультразвуком приводит к разрушению микроагрегатов и дифференциации ма-

Таблица 1. Распределение частиц по размерам в донных отложениях русла и наилках р. Амур, мг/кг.

Номер и положение точек отбора	Объект	Фракция, мкм									
		0-2	2-10	10-50	50-100	< 100*	100-250	250-500	500-1000	1000-2000	> 2000
т. 707, Выше р. Сунгари	ДО	0*	0	0	0	0	0.7	22.4	65.1	4.0	7.8
т. 708, Ниже р. Сунгари	ДО	0	0	0	0	0	0.7	23.6	65.6	4.3	5.8
т. 709, 3-й км, Средний Амур	ДО	0	0	0	0	0	5.6	75.0	17.9	0	1.5
т. 710, Амурская протока	ДО	0	0	0	0	0	6.6	67.8	17.6	0	8.0
т. 711, 0-10 см	БО	0** 7.5	0 18.6	1.8 20.7	8.8 12.6	11.6	55.2 34.6	30.1 6.0	3.1 0	0	0
10-15 см		6.6 8.7	8.5 25.5	27.3 26.6	15.5 3.8	57.9	35.5 25.2	6.5 10.8	0 0	0	0
15-20 см		0	0	0	0	0	50.0	47.8	2.2	0	0
т. 712, 0-5 см	БО	0	0	0	0.3	0.3	69.8	27.4	2.5	0	0
5-19 см		5.8 10.0	17.8 29.2	44.5 39.0	21.6 14.1	89.7	10.3 7.7	0 0	0 0	0	0
19-28 см		1.6 14.7	7.9 45.8	32.2 36.2	32.3 2.5	73.9	26.0 0.8	0 0	0 0	0	0
30-35 см		0	0	0	0.8	0.8	42.9	47.6	8.7	0	0
т. 713	Наилки 1	2.2 12.0	9.5 37.4	37.3 38.0	31.3 10.8	80.3	19.7 1.8	0 0	0 0	0	0
т. 713	Наилки 2	2.2 12.2	9.1 37.3	45.7 45.8	29.4 4.2	86.4	13.6 0.5	0 0	0 0	0	0
т. 714	Наилки 3	3.2 11.7	12.1 39.6	41.4 40.1	24.4 6.3	81.0	18.7 2.3	0.2 0	0 0	0	0

Примечание. ДО – донные отложения, БО – береговой обрыв, наилки 1-3 – наилки 2012-2014 гг., соответственно, * – микроагрегатный состав, ** – в числителе микроагрегатный, в знаменателе – гранулометрический состав.

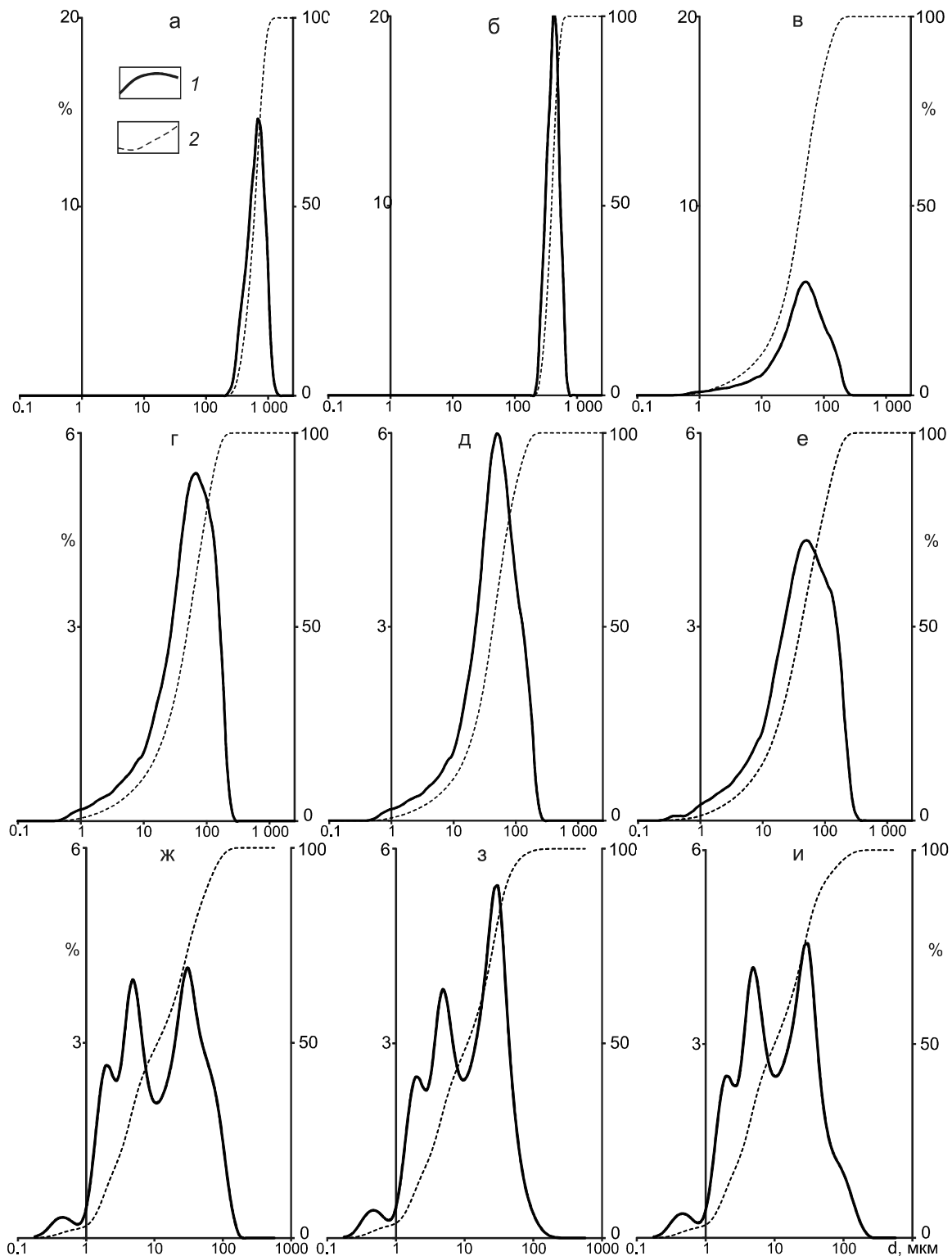


Рис. 3. Гранулометрический состав донных отложений (*а, б*) и наилок (*в–и*) Амура на участке устья Сунгари – г. Хабаровск: *1* – дифференциальные, *2* – интегральные кривые; *а* – т. 708, ниже устья Сунгари; *б* – т. 709, 3-й км Средний Амур; *в, д, з* – т. 713, наилок 2013 г.; *ж, з* – т. 713, наилок 2012 г.; *е, и* – т. 714 наилок 2014 г.; *а–е* – анализ без обработки образцов ультразвуком, *ж–и* – после нее.

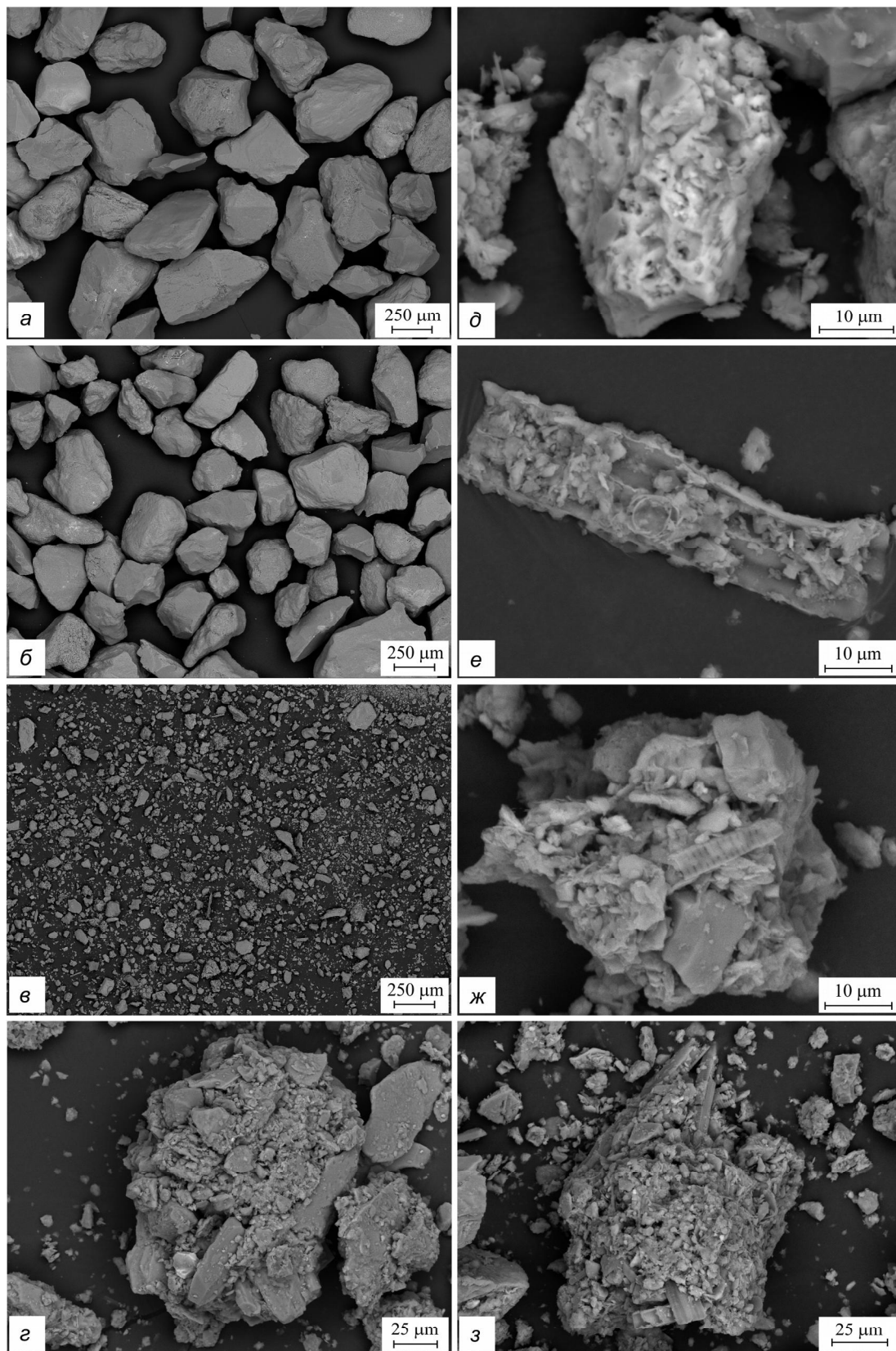


Рис. 4. Микрофотографии донных отложений (*а, б*) и наилок Амура (*в-з*) на участке устье Сунгари – г. Хабаровск: *а* – т. 708, ниже устья Сунгари; *б* – т. 710, Амурская протока; *в* – т. 713; *д, е* – глинистые микроагрегаты; *ж-з* – примеры агрегирования глинистых частиц диатомовыми водорослями (РЭМ).

териала наилок на четыре фракции 0–1, 1–3, 3–10 и 10–100 мкм (рис. 3 ж–и), наиболее представительные из которых – фракции средней и крупной пыли (с максимумами 5 и 30 мкм, соответственно). Фракции крупной пыли и тонкого песка, как и в случае анализа образцов без использования ультразвука, на дифференциальных кривых не разделяются.

Расчет содержания фракций, согласно стандартизированной процедуре гранулометрического анализа [2], показал, что после обработки образцов ультразвуком содержание ила и средней пыли возрастает в 3–5 раз (с 2 до 12 % и с 9–12 до 37–40 %, соответственно) за счет фракций тонкого и мелкого песка. Подобная закономерность наблюдается и для погребенных наилок (т. 711 и 712). Содержание фракций крупной пыли до и после обработки ультразвуком остается практически неизменным. Последнее позволяет утверждать, что основное участие в микроагрегации наилок принимают частицы физической глины (размер частиц <10 мкм). Частицы размера крупной пыли (10–50 мкм) слабо удерживаются в микроагрегатах и переносятся преимущественно транзитом.

Влекомые и взвешенные наносы Амура на исследуемом участке дифференцированы и по валовому составу макро- и микроэлементов. Так, отложения русла характеризуются крайне высоким (до ~90 %) содержанием SiO_2 (табл. 2). Вниз по продольному профилю реки с уменьшением преимущественного размера частиц в донных отложениях происходит закономерное снижение (до ~80 %) доли SiO_2 . При этом содержание Al_2O_3 возрастает с 6–7 до 9 %, Na_2O и K_2O с 1.3–1.7 до 2.2–2.3 и с 2.1–2.6 до 3.0–3.1 %, соответственно, что свидетельствует о повышении содержания в них полевых шпатов. Содержание Fe_2O_3 и MnO в донных отложениях невелико и возрастает вниз по продольному профилю реки с 0.4 до 1.0 % и с 0.02 до 0.04 %, соответственно. Методами РЭМ анализа было зафиксировано совместное выделение оксидов железа и марганца на зернах кварца и полевых шпатов (рис. 5). Размер, форма выделений и соотношение в них Fe к Mn зависят от скорости течения и участка реки. При больших скоростях (участок впадения Сунгари, т. 707 и 708) форма выделений точечная (в углублениях зерен), в составе выделений преобладает марганец. Содержание Mn в выделениях превышает содержание Fe от 2 до 5 раз. В зоне аккумуляции (т. 709, 3-й км, Средний Амур) помимо точечных выделений на поверхности зерен кварца и полевых шпатов встречаются тонкие фрагментарные кутаны, состоящие из оксидов Fe и Mn. Содержание в них Fe увеличивается, отношение Fe/Mn приближается к единице. В протоке Амурской (т. 710), характеризующейся невысокой пропускной способностью и

соответственно малой скоростью течения, на зернах кластогенных минералов образуются «мощные» Fe-Mn кутаны, состоящие из отдельных микрогранул диаметром 1–2 мкм (рис. 5 г). Содержание в них железа на порядок превышает содержание Mn. Это свидетельствует о большей транспортной подвижности оксидов железа в речном потоке по сравнению с оксидами марганца.

Наилки отличаются от донных отложений русла существенно меньшим содержанием SiO_2 (59–60 %), большим содержанием Al_2O_3 , CaO и MgO (13–14 и 6–9 %, 1.4–1.9 и 0.3–0.6 %, 1.5–1.6 и 0.1–0.2 %, соответственно), что обусловлено их глинисто-алевритовый составом. Содержание в наилках Fe_2O_3 (~5 %) высокое, что в большой степени определяет их повышенную микроагрегированность. Следует отметить близкий макроэлементный состав наилок разных лет отложения (2012–2014 гг.). Несколько пониженное содержание Fe_2O_3 в наилках 2013 г. (4.9 и 5.1–5.25 %, соответственно) вероятнее всего связано с увеличением растворимости соединений железа в восстановительных условиях при длительном затоплении поймы в 2013 г.

Крайне близки наилки 2012–2014 гг. и по макроэлементному составу (табл. 3), различия между ними статистически не значимы. Они бедны Cr, Cu, Ni, Sr, V и Rb, содержание которых в наилках в 2–3 раза ниже по сравнению с осадочными породами [3]. Напротив, содержания в них Zn, Pb, Co, Y и Yb приближаются к средним значениям для осадочных пород. Некоторое превышение отмечается лишь для Zr (250–310 мг/кг), что связано с преобладанием в бассейне Амура гранитно-метаморфических пород и их осадочных производных с эпидот-роговообманковой ассоциацией аксессуарных минералов, включающей циркон. Высокие значения содержания Zr в т. 712 (поверхностный песчаный слой) обусловлено его относительным накоплением в результате эоловых процессов.

Различаются наилки только мощностью отложений. Так, толщина наилок 2013 г. (т. 713) после катастрофического наводнения в воздушно-сухом состоянии составила 5–7 см, наилок 2012 и 2014 гг. (т. 713 и 714) – 0.5–1.0 и 0.1–0.3 см, соответственно.

Содержание микроэлементов в отложениях русла в связи с их преимущественно кварц-полевошпатовым составом существенно ниже, чем в наилках. Исключение составляют Pb и Y. Их содержание в донных отложениях в 2–3 раза выше, чем в наилках. Это связано с преимущественным входением элементов в состав первичных минералов. Интересно и поведение Sr. Его содержание на участке от впадения Сунгари до зоны аккумуляции возросло почти в два

Таблица 2. Валовой состав донных отложений русла и наилков р. Амур, %.

Номер и положение точек отбора	Объект	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	Σ
т. 707, выше р. Сунгари	ДО	90.92	0.05	5.68	0.38	0.02	0.28	0.11	1.38	2.13	0.02	0.00	101.35
т. 708, ниже р. Сунгари	ДО	87.51	0.05	6.83	0.44	0.03	0.34	0.09	1.72	2.57	0.02	0.00	99.95
т. 709, 3-й км, Средний Амур	ДО	85.34	0.08	9.10	0.55	0.03	0.57	0.11	2.33	3.11	0.02	0.00	101.65
т. 710, Амурская протока	ДО	81.80	0.13	8.98	1.03	0.04	0.53	0.24	2.25	3.05	0.04	0.01	98.45
т. 711, 0-10 см	БО	69.54	0.37	12.32	2.32	0.05	1.15	0.76	3.28	3.05	0.09	0.01	93.29
10-15 см		65.41	0.57	13.21	3.69	0.08	1.18	1.15	2.63	2.73	0.14	0.02	91.14
15-20 см		72.81	0.17	11.65	1.47	0.04	0.94	0.39	3.40	3.37	0.06	0.01	94.67
т. 712, 0-5 см	БО	71.39	0.51	12.02	1.99	0.06	1.73	0.69	3.80	3.05	0.09	0.01	95.71
5-19 см		58.36	0.77	14.14	5.58	0.14	1.36	1.58	1.95	2.46	0.20	0.04	86.90
19-28 см		62.79	0.60	13.16	3.85	0.10	1.49	1.17	3.11	2.69	0.14	0.02	89.43
30-35 см		75.31	0.20	10.55	1.35	0.04	0.94	0.41	3.01	3.08	0.05	0.01	95.33
т. 713	Наилок 1	58.93	0.71	13.63	5.11	0.16	1.93	1.61	2.38	2.51	0.20	0.05	87.55
т. 713	Наилок 2	59.13	0.74	13.45	4.86	0.12	1.47	1.46	2.29	2.46	0.17	0.04	86.51
т. 714	Наилок 3	59.67	0.68	13.85	5.25	0.09	1.44	1.50	2.24	2.49	0.24	0.04	87.82

Примечание. ДО – донные отложения, БО – береговой обрыв, наилки 1-3 – наилки 2012-2014 гг., соответственно.

Таблица 3. Микроэлементный состав донных отложений русла и наилков р. Амур, мг/кг.

Номер и положение точек отбора	Объект	Cr	Cu	Zn	Pb	Co	Ni	Sr	V	Rb	Zr	Y	Yb
т. 707, выше р. Сунгари	ДО	24	0	19	42	7	0	67	0	100	115	3	16
т. 708, ниже р. Сунгари	ДО	22	0	19	40	8	0	95	0	113	119	5	14
т. 709, 3-й км, Средний Амур	ДО	18	0	20	38	10	0	156	0	121	145	7	14
т. 710, Амурская протока	ДО	21	0	30	36	10	0	136	6	127	140	10	13
т. 711, 0-10 см	БО	27	1	47	28	14	8	288	21	122	253	15	8
10-15 см		43	10	71	26	18	20	270	40	121	267	22	6
15-20 см		19	0	33	31	13	3	294	10	129	160	11	9
т. 712, 0-5 см	БО	24	0	33	28	14	3	332	20	105	518	16	9
5-19 см		63	25	98	23	21	35	272	65	120	266	31	4
19-28 см		41	11	71	25	20	18	323	43	118	322	24	6
30-35 см		21	0	31	32	13	2	258	7	120	195	10	10
т. 713	Наилок 1	54	20	84	24	21	26	316	55	114	306	29	4
т. 713	Наилок 2	54	19	83	23	19	27	289	56	118	306	29	4
т. 714	Наилок 3	57	19	90	24	20	27	292	58	114	254	27	4
	ОП	100	57	80	20	20	95	450	130	200	200	30	3

Примечание. ДО – донные отложения, БО – береговой обрыв, наилки 1-3 – наилки 2012-2014 гг., соответственно, ОП – средние содержания в осадочных породах [3].

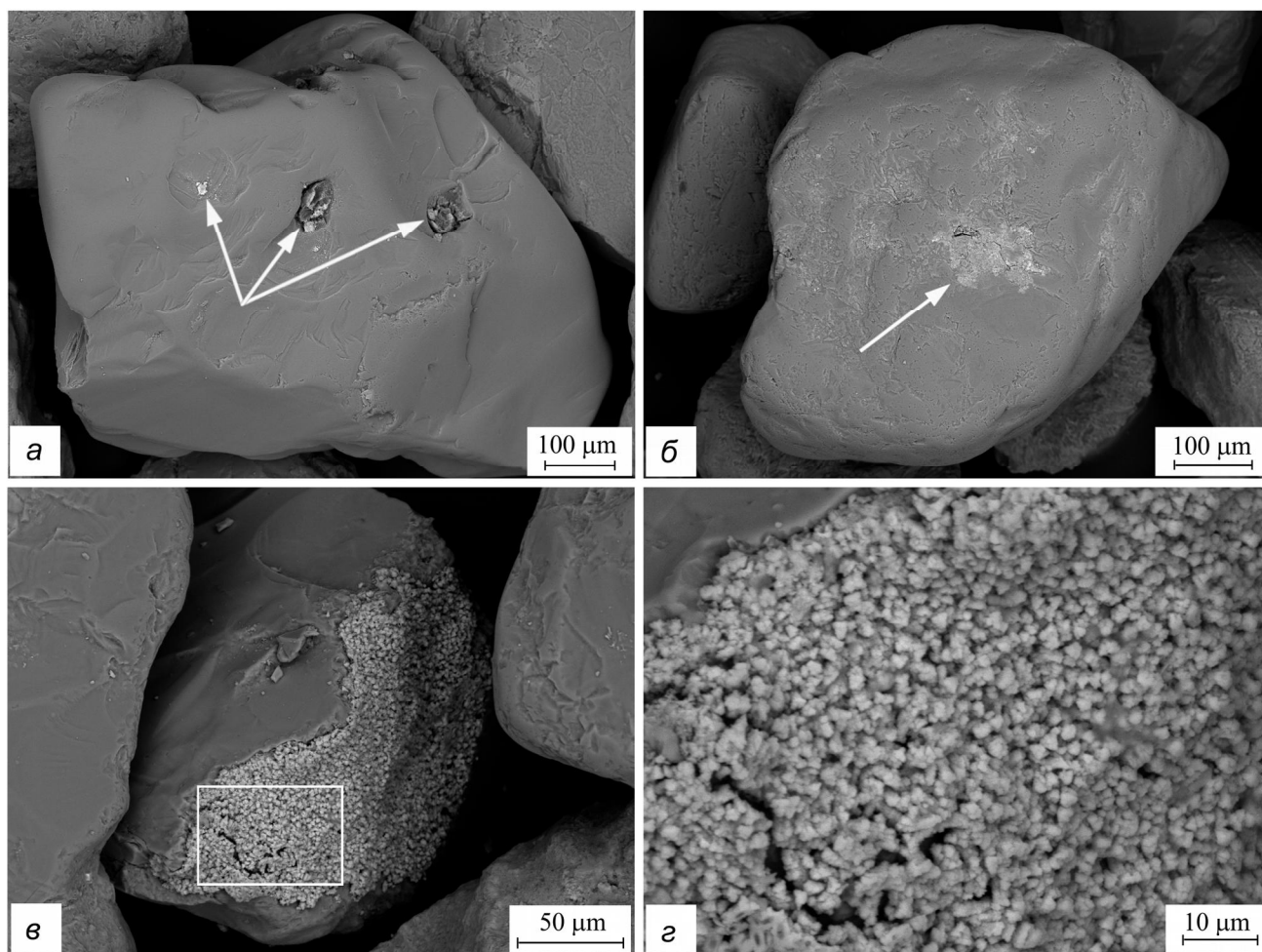


Рис. 5. Микрофотографии выделений оксидов железа и марганца (стрелки) на зернах кварца (*а, в, г*) и полевых шпатов (*б*): *а* – т. 707, выше устья Сунгари; *б* – т. 709, 3-й км Средний Амур; *в, г* – т. 710, Амурская протока; *г* – выделенный фрагмент *в* (РЭМ).

раза с 70–100 до 140–160 мг/кг, что связано с ростом в составе отложений Са-содержащих полевых шпатов.

Основу минералогического состава отложений русла, пойменных островов и наилок составляют каркасные минералы – кварц и полевые шпаты (табл. 4). В отложениях русла преобладание каркасных минералов абсолютно – содержание их достигает 95–97 %. Вниз по продольному профилю реки от впадения Сунгари (тт. 707 и 708) до зоны разгрузки (тт. 709 и 710) содержание кварца в них падает с 77 до 60 % преимущественно за счет более выветриваемых плагиоклазов. Локальный пик в содержании К-полевых шпатов в т. 708 связан, по-видимому, с их привносом твердым стоком Сунгари.

В наилках по сравнению с донными отложениями содержание каркасных минералов падает до 79–84 %, доля кварца в них (каркасных минералах)

существенно уменьшается (до 35–50 %) и увеличивается доля полевых шпатов, преимущественно плагиоклазов. Свообразным индикатором изменения условий отложения речных наносов является появление в составе каркасных минералов клиноптилолита. Минерал сходен по строению с полевыми шпатами, но более легкий, его плотность составляет 2.1–2.2 г/см³. Дополнительно к клиноптилолиту диагностируются минералы из группы ленточных и кольцевых силикатов – актинолит и кордиерит. Эти минералы сопутствуют гранатам и принадлежат эпидот-роговообманковой ассоциации аксессуарных минералов, в зонах разгрузки происходит их осаждение и концентрирование. Кордиерит в связи с его невысокой устойчивостью в поверхностных условиях (замещается слюдами и хлоритами) встречается реже, чем актинолит: диагностирован он был в трех образцах из десяти.

Таблица 4. Минералогический состав донных отложений русла и наилок р. Амур, %.

Номер и положение точек отбора	Объект	Силикаты									
		Каркасные			Слоистые			Ленточные		Кольцевые	
		Кварц	Калиевые ПШ	Плагио-клас	Клино-птилолит	Хлорит	Иллит	Каолинит	Актинолит	Кордиерит	
т. 707, выше р. Сунгари	ДО	72.9	14.9	7.4	0	0	4.8	0	0	0	0
т. 708, ниже р. Сунгари	ДО	70.3	21.2	5.4	0	0	2.0	0	0	0	0
т. 709, 3-й км, Средний Амур	ДО	64.7	15.2	16.4	0	0	2.0	0	0	0	0
т. 710, Амурская протока	ДО	57.1	19.3	18.3	0	0	2.0	1.0	0	0	0
т. 711, 0–10 см	БО	46.4	17.6	29.4	2.3	0	2.0	0	1.3	1.0	1.0
10–15 см		39.5	19.2	26.6	2.1	0	7.2	1.0	1.3	1.0	1.0
15–20 см		47.5	17.5	29.5	1.5	0	3.0	0	0	0	0
т. 712, 0–5 см	БО	42.4	12.8	30.1	1.9	0	3.1	1.0	5.1	1.0	1.2
5–19 см		35.5	12.5	26.5	1.2	0	15.3	2.3	2.1	0	0
19–28 см		41.4	11.6	31.2	1.8	0	7.9	1.0	1.6	0	0
30–35 см		37.9	17.6	35.2	1.3	0	2.4	1.0	3.5	0	0
т. 713	Наилки 1	29.1	30.7	22.1	2.1	0	6.5	1.0	5.9	0	0
т. 713	Наилки 2	39.6	19.2	18.3	1.8	0	5.2	1.0	6.2	0	0
т. 714	Наилки 3	42.3	12.3	27.6	1.7	0	4.5	1.9	3.5	0	0

Примечание. ДО – донные отложения, БО – береговой обрыв, наилки 1–3 – наилки 2012–2014 гг., соответственно. ПШ – полевые шпаты.

Наибольшие отличия наилок от донных отложений проявляются в содержании слоистых минералов. В донных отложениях их содержание крайне низкое и не превышает 5 %. В наилках их содержание существенно больше – от 10 до 15 %. В наилках погребенных (тт. 711 и 712, пойменные острова) за счет дополнительной дифференциации тонких фракций в профиле разброс их содержания выше – от 7 до 22 %. Анализ образцов в целом (табл. 4) позволяет оценить лишь общее содержание слоистых минералов. Состав слоистых минералов был детализирован после выделения иллитовой фракции (табл. 5).

Расчет их количественного содержания методом полнопрофильного анализа [30] позволил уточнить и существенно дополнить ранее полученные данные о составе глинистых минералов амурского аллювия. Кроме того, данные минералогического состава позволили объяснить (назвать) причину преимущественного переноса его (аллювия) тонких фракций в микроагрегатах. До настоящего времени считалось, что основную часть глинистых минералов амурского аллювия составляют гидрослюды (иллиты) [8, 22]. Количественный анализ иллитовой фракции на аппаратуре с высоким угловым разрешением подтвердил данные полуколичественного анализа о высоком содержании в них иллитов (32–42 %). Однако доминируют (44–49 %) и определяют основу минералогического состава иллитовых фракций отложений пойменных островов и наилок смешанно-слоистые иллит-сметиты. Последние в присутствии оксидов железа образуют достаточно устойчивые при транспортировке в водном потоке микроагрегаты [33]. Образование микроагрегатов для иллитов не характерно. Следует отметить, что ранее из смешанно-слоистых минералов дополнительно к иллит-сметиту были диагностированы каолинит- и хлорит-сметиты [22]. Однако моделирование и расчет суммарной дифракционной картины в присутствии предполагаемых фаз не позволили подтвердить их диагностику.

Вклад остальных глинистых минералов имеет подчиненное значение. Их содержание в порядке убывания составляет: каолинит – 7–13 %, хлорит – 5–9 %, менее всего сметита ~1 % (на пределе обнаружения). Наилки, как и отложения пойменных островов, характеризуются близким минералогическим составом тонких фракций. Последнее неочевидно, но вполне закономерно, поскольку в процессе переноса взвешенные наносы, как собственно и влекомые, неоднократно переотлагаются, что ведет к усреднению состава отложений. Сохранению близкого состава наилок (минералогического, валового и грануломе-

Таблица 5. Минералогический состав илистых фракций донных отложений русла и наилок р. Амур, %.

Номер и положение точек отбора	Объект	Иллит	Иллит-сметит	Сметит	Каолинит	Хлорит
т. 711, 0–10 см	БО	40.4	45.9	1.1	7.1	5.6
10–15 см		37.6	49.3	1.0	7.3	4.9
т. 712, 0–5 см	БО	34.3	49.7	1.3	8.5	6.3
5–19 см		41.2	45.5	1.2	7.6	4.5
19–28 см		42.3	44.6	1.1	7.9	4.1
т. 713	Наилок 1	38.9	44.2	1.1	9.1	6.8
т. 713	Наилок 2	32.2	44.0	1.3	13.4	9.2
т. 714	Наилок 3	35.3	48.5	1.1	8.9	6.2

Примечание. БО – береговой обрыв, наилки 1–3 – наилки 2012–2014 гг., соответственно.

трического) способствует также перенос их тонких фракций в относительно устойчивых микроагрегатах.

Из акцессорных минералов, содержание которых менее одного процента, и соответственно методами рентген-дифрактометрии они обнаружены не были, методами РЭМ и РСМА анализа были диагностированы следующие минералы эпидот-роговообманковой ассоциации – ильменит FeTiO_3 , сфен CaTiSiO_5 , рутил TiO_2 , апатит, смешанные фосфаты редкоземельных элементов (La, Ce, Nd, Y, Yb, Pr, Er, Gd) (рис. 6) и циркон ZrSiO_4 (рис. 7). Ильменит в донных отложениях представлен включениями размером до 250 мкм в зернах первичных минералов (рис. 6 а). В наилках он встречается как в виде хорошо ограненных с четкими ребрами и гранями ромбоэдрических кристаллов размером до 50 мкм, так и в виде выветрелых “изъеденных” угловато-округлых зерен размером до 150 мкм (рис. 6 б, в). Сфен встречается, главным образом, в донных отложениях в виде уплотненных окатанных клиновидных обломков размером до 200 мкм (рис. 6 г). Рутил и апатит были обнаружены в виде включений (размером до 100 и 50 мкм, соответственно) в зерна первичных минералов донных отложений (рис. 6 д, е). Смешанные фосфаты РЗЭ встречаются как в виде включений в зерна первичных минералов (рис. 6 ж), так и в составе глинистых микроагрегатов (рис. 6 з), размер частиц 10–15 мкм.

Циркон, стойкий к выветриванию акцессорный минерал изверженных пород, был обнаружен в виде идиоморфных, хорошо ограненных призматического габитуса кристаллов (рис. 7 а, б) и в виде метамиктных радиационно-поврежденных [34] кристаллов, сохранивших тетрагональную симметрию (рис. 7 в–е). С помощью РСМА анализа в последних было зафиксировано присутствие U (до 0.1 ат. %) и Hf в качестве примеси. Идиоморфные кристаллы встречаются преимущественно в донных отложениях (включения в первичные минералы), кристаллы метамиктные – в наилках. Размер обнаруженных кристаллов и того, и другого типа не превышает 10–25 мкм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования минералогии и вещественного состава донных отложений и наилок р. Амур в зоне влияния его основного притока р. Сунгари показали, что состав, отсортированность и размер доминирующей фракции влекомых наносов Амура (донные отложения, середина реки) от впадения Сунгари до первой зоны аккумуляции (Хабаровское расширение) соответствуют гидрологическим условиям исследуемого участка. С уменьшением уклона и скорости течения реки их отсортированность возрастает, размер доминирующей фракции уменьшается от крупного до среднего песка. В составе отложений увеличивается доля плагиоклазов.

В зоне аккумуляции (Хабаровское расширение) размер доминирующей фракции отложений в ряду «донные отложения русла – отложения пойменных островов – наилки» закономерно уменьшается: средний песок – мелкий песок – тонкий песок с преобладанием крупной пыли, соответственно. Наилки (свежие и погребенные) помимо крупной пыли содержат большое количество глинистых минералов до 10–15 % и более.

Как показали гранулометрический и РЭМ анализы, перенос тонких фракций наилок осуществляется преимущественно в микроагрегатах. Их средний размер (55–70 мкм) соответствует наиболее представительной фракции микроагрегатного состава. Согласно числу, размеру и составу входящих в микроагрегаты частиц, они сложно организованы. Микроагрегированность наилок определяет их минералогический состав, основу которого составляют смешаннослойные иллит-сметиты. Последние образуют в присутствии оксидов железа достаточно устойчивые при транспортировке в водном потоке микроагрегаты. В образовании части микроагрегатов принимают участие диатомовые водоросли.

Наилки разных лет отложения, как свежие, так и погребенные, при разной мощности отложений харак-

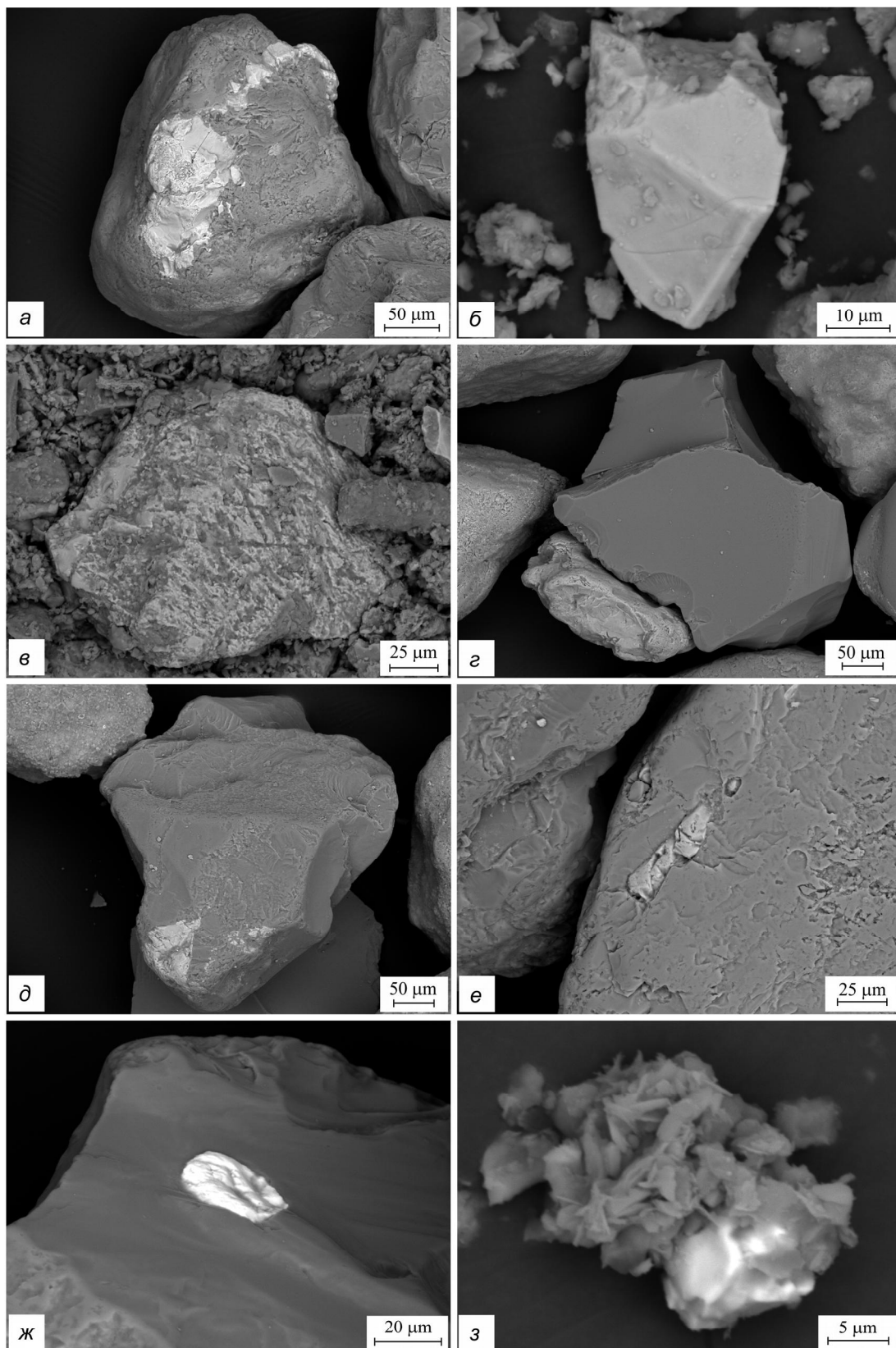


Рис. 6. Микрофотографии зерен ильменита (а–в), сфена (г), рутила (д), апатита (е) и смешанных фосфатов РЗЭ (ж, з). а – т. 708, ниже устья Сунгари; б, в – т. 713; г, д – т. 710, Амурская протока; е – т. 709, 3-й ка Средний Амур; ж – т. 707, выше впадения Сунгари; з – т. 714, остальные пояснения в тексте (РЭМ).

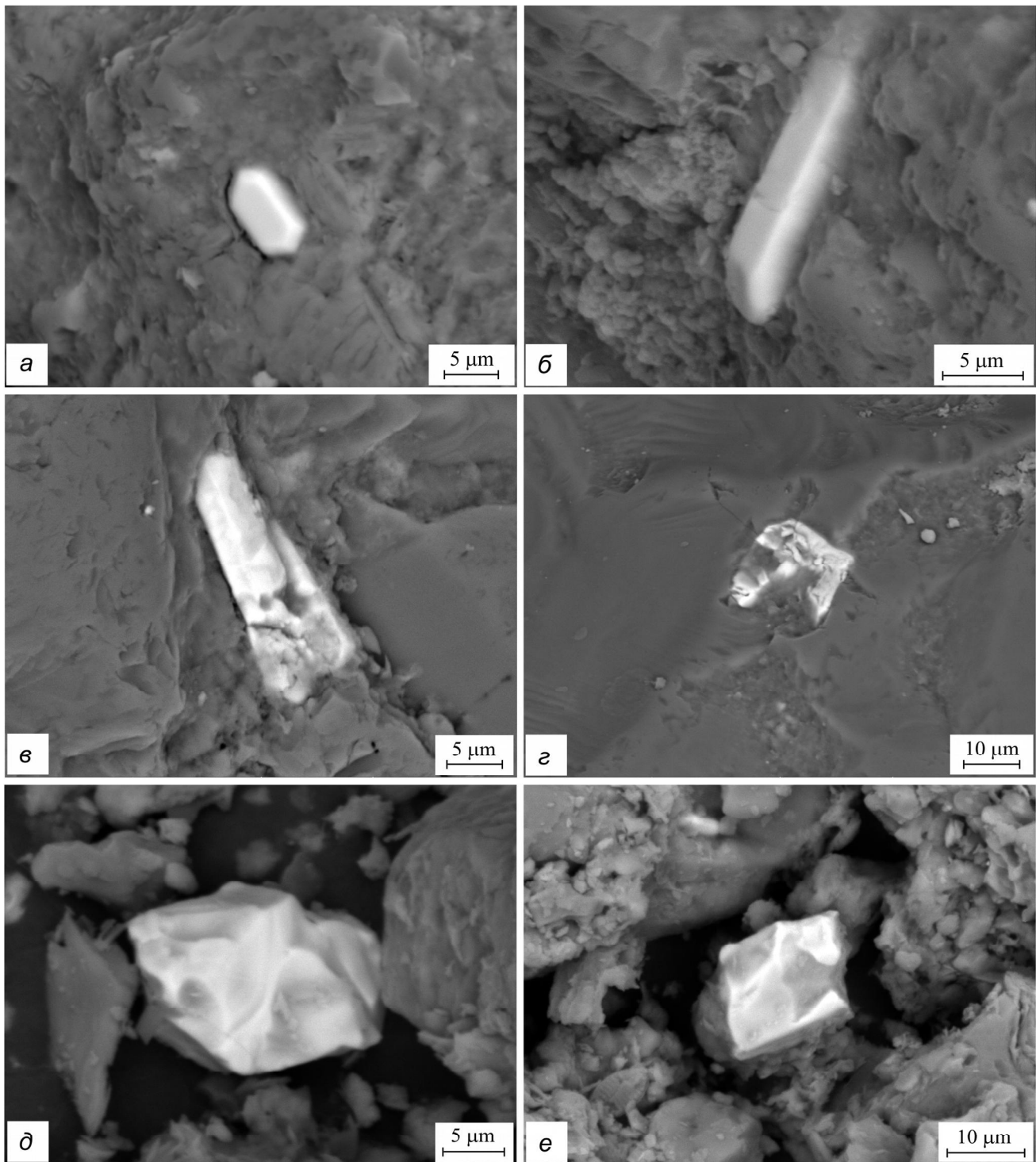


Рис. 7. Микрофотографии (РЭМ) зерен циркона: *а, г* – т. 710, Амурская протока; *б, в* – выше впадения Сунгари; *д, е* – т. 713, остальные пояснения в тексте.

теризуются близким гранулометрическим, валовым и минералогическим составом. Последнее неочевидно, но вполне закономерно, поскольку в процессе переноса как взвешенные наносы, так, собственно, и влекомые неоднократно переотлагаются, что ведет к усреднению состава отложений. Сохранению близкого состава наилок способствует также перенос их тонких фракций в относительно устойчивых микроагрегатах. Наилки экстремального наводнения 2013 г. при существенно большей мощности отложений (на порядок) отличаются от наилок лет низкой водности Амура лишь несколько большей отсортированностью, что связано с высокой длительностью стояния воды в пойме. Большая отсортированность наилок сопровождается возрастанием в их составе глинистых минералов с жесткими структурами (каолинит, хлорит), которые не агрегируются (не образуют микроагрегаты) и могут переноситься на большие расстояния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеевский Н.И. Формирование и движение речных наносов. М: Изд-во МГУ, 1998. 202 с.
2. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. М.: Высшая школа, 1973. 400 с.
3. Виноградов А.П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
4. Ганзей С.С., Ермошин В.В., Мишина Н.В. Динамика использования земель в бассейне р. Амур в XX веке // География и природные ресурсы. 2010. № 1. С. 30–38.
5. Данилов-Данильян В.И., Гельфан А.Н. Экстраординарное наводнение в бассейне реки Амур // Вестн. РАН. 2014. Т. 84, № 9. С. 817–825.
6. Деркачев А.Н., Николаева Н.А., Горбаренко С.А. Особенности поставки и распределения кластогенного материала в Охотском море в позднечетвертичное время // Тихоокеан. геология. 2004. Т. 23, № 1. С. 37–52.
7. Дугина И.О. Выдающееся наводнение на Амуре 2013 года и его особенности. Взгляд гидролога // Наводнение-2013. Талакан: ОАО РусГидро, 2014. С. 41–57.
8. Ковда В.А., Будакова А.А., Амчиславская А.Г., Зимовец Б.А., Корнблюм Э.А. Отчет о почвенно-мелиоративных исследованиях бассейна р. Амур. Амурская комплексная экспедиция. М: АН СССР, Почв. Ин-т им. В.В. Докучаева, 1960. Т. 1. 381 с.
9. Махинов А.Н., Чалов Р.С., Чернов А.В. Направленная аккумуляция наносов и морфология русла Нижнего Амура // Геоморфология. 1994. № 4. С. 70–78.
10. Махинов А.Н. Современное рельефообразование в условиях аллювиальной аккумуляции. Владивосток: Дальнаука, 2006. 232 с.
11. Милановский Е.Ю., Хайдапова Д.Д., Поздняков А.И., Тюгай З.Н., Початкова Т.Н., Черноморченко Н.И., Манучаров А.С. Практикум по физике твердой фазы почв. М.: Гриф и К°, 2011. 62 с.
12. Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 2. Ч. II. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 263 с.
13. Никольская В.В. Морфоскульптура бассейна Амура. М.: Наука, 1972. 295 с.
14. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 18. Дальний Восток. Вып.1. Верхний и Средний Амур. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 780 с.
15. Руководство по гидрологической практике. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 513 с.
16. Сиротский С.Е., Харитонов Г.В., Ким В.И., Климин М.А., Чижилова Н.И., Тюгай З.Н., Коновалова Н.С., Уткина Е.В. Гранулометрический и микроэлементный состав донных отложений реки Амур в среднем и нижнем течении // Тихоокеан. геология. 2014. Т. 33, №3. С. 88–98.
17. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. М.: Изд-во АН СССР, 1962. Т. II. 575 с.
18. Харитонов Г.В., Сиротский С.Е., Чижилова Н.П., Коновалова Н.С., Манучаров А.С., Тюгай З.Н., Уткина Е.В. Микроэлементы во фракциях донных отложений р. Амур // Литология и полез. ископаемые. 2014. № 3. 207–219.
19. Хокс Х.Е., Уэбб Дж.С. Геохимические методы поиска минеральных месторождений. М.: Мир, 1964. 487 с.
20. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география и практика. Т. 1. Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 608 с.
21. Чижилова Н.П., Харитонов Г.В., Матюшкина Л.А., Сиротский С.Е. Минералогический состав тонкодисперсной части почв среднего и нижнего Приамурья, донных отложений и взвесей реки Амур // Почвоведение. 2004. № 8. С. 1000–1012.
22. Чижилова Н.П., Сиротский С.Е., Харитонов Г.В., Манучаров А.С., Коновалова Н.С., Уткина Е.В. Минералогический и химический состав тонкодисперсной части донных отложений р. Амур // Почвоведение. 2011. № 7. С. 848–860.
23. Шалдыбин М.В., О.К. Кирилук О.К., Дембовецкий А.В., Лопушняк Ю.М., Коновалова Н.С., Уткина Е.В., Харитонов Г.В. Минералогический состав почв бугров Бэра Даурии // Тихоокеан. геология. 2014. Т. 33, №6. С. 111–126.
24. Brzezinski M.A. Mining the diatom genome for the mechanism of biosilification // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2008. V. 105, N 5. P. 1391–1392.
25. De Jonge M.D., Vogt S. Hard X-ray fluorescence tomography – an emerging tool for structural visualization // Current Opinion in Structural Biology. 2010. V. 20. P. 606–614.
26. De Jonge M.D., Holzner C., Baines S.B. et al. Quantitative 3D elemental microtomography *Cyclotella meneghiniana* at 400-nm resolution // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2010. V. 107(36). P. 15676–15680.
27. Förstner U., Wittmann G.T.W. Metal Pollution in the Aquatic Environment. Berlin: Springer, 1983. 486 p.
28. Kim V.I. Hydrological regime of the Amur River and changes caused by economic activities // Report on Amur-Okhotsk Project. № 6. Japan (Kyoto): Research Inst. for Humanity and Nature, 2010. P. 129–138.
29. Moor J., Ramamoorthy S. Heavy Metals in Natural Waters: Applied Monitoring and Impact Assessment. N. Y.: Springer, 1984. 288 p.
30. Moore D.M., Reynolds R.C., Jr. X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals. Oxford, New

- York: Oxford University Press, 1997. 378 p.
31. Second assessment of transboundary rivers, lakes and ground waters. Part IV. Chapter 2. Drainage basins of the sea of Okhotsk and sea of Japan. Geneva: United Nations, 2011. P. 99–106.
32. Sparks D.L. Toxic metals in the environment: the role of surfaces // *Elements*. 2005. V. 1. P. 193–197.
33. Sposito G. The surface chemistry of soils. N.Y.: Oxford Univ. Press, 1984. 234 p.
34. Zircon /Ed. J.M. Hanchar, P.W.O. Hoskin // *Rev. Miner. Geochem.* V. 53. 500 p.

Рекомендована к печати Б.А. Вороновым

M.V. Shaldybin, G.V. Kharitonova, V.I. Kim, Yu.M. Lopushnyak, E.V. Utkina, A.V. Dembovetsky, N.S. Konovalova, A.V. Yudina, S.A. Shmigirilov

Mineralogy and composition of the Amur River bottom sediments in the Sungari River zone of influence

The composition of bottom sediments and drift bands in the Amur River from the Sungari River estuary up to Khabarovsk city has been studied after the 2013 severe flood by X-ray and laser diffractometry methods, X-ray-fluorescence analysis, scanning electron microscopy and electric variance analyses. It was established that the composition, sorting and dimension of dominant fraction of suspended silt in the Amur River are in good agreement with hydrological conditions of the study area. It is shown that the drift beds of the 2013 severe flood and those of low water periods of different thickness are characterized by a close granulometric, bulk and mineralogical composition. This is aided by transport of their fine fractions in relatively stable microaggregates. Microaggradation of drift bands determines their mineralogical composition with the predominance of mixed illite-smectite beds in the fine fraction composition. The latter form rather steady microaggregates during the transportation in water flow with ferrous oxide present. Diatoms take part in the formation of some microaggregates.

***Keywords:* bottom sediments, drift bands, Amur River, Far East of Russia.**