

МИНЕРАЛОГИЯ И СОСТАВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РЕКИ БУРЕЯ РАЙОНА НИЖНЕ-  
БУРЕЙСКОЙ ГЭС

*М.В. Шалдыбин<sup>1,2</sup>, Г.В. Харитонов<sup>3</sup>, А.В. Остроухов<sup>3</sup>, В.О. Крутикова<sup>3,4</sup>,  
Ю.М. Лопушняк<sup>1</sup>, Е.С. Деева<sup>1</sup>, В.П. Шестеркин<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>ОАО «ТомскНИПИнефть», пр-т Мира 72, г. Томск, 634027

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

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

<sup>4</sup>ФГБУН Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, Ким Ю Чена 65, г. Хабаровск, 680000

Поступила в редакцию 6 марта 2017 г.

Методами ситового анализа, рентген- и лазерной дифрактометрии, рентген-флуоресцентного анализа, растровой электронной микроскопии и энергодисперсионного анализа был изучен состав донных отложений р. Бурей и ее притоков в районе Нижне-Бурейской ГЭС. Установлено, что валовой и минералогический состав отложений притоков соответствует генезису пород водосборного бассейна. Однако разница в вещественном составе отложений притоков не проявляется в их гранулометрическом составе, что связано с преобладанием на исследуемой территории процессов физического выветривания. Показано, что основу минералогического состава донных отложений и наилоков Буреи и ее притоков составляют каркасные минералы: содержание полевых шпатов и кварца достигает 90 % с преобладанием последнего. Для притоков четко проявляется влияние типа дренируемых пород на минералогический состав донных отложений. Отложения притоков, в бассейне которых преобладают магматические породы кислого состава, отличаются повышенным содержанием кварца и калиевых полевых шпатов, в случае преобладания осадочных и магматических пород основного состава – высоким до 30 % содержанием плагиоклазов. По характеру акцессорных минералов эпидот-роговообманковой ассоциации отложения схожи. Различия в проявлении акцессориев определяются как типом пород дренируемой территории, так и влиянием барийсодержащих артезианских вод. Их разгрузка (бассейн р. М. Симичи) приводит к аномально высоким до 800 мкг/дм<sup>3</sup> содержаниям бария в речной воде и осаждению его в виде барита.

**Ключевые слова:** эдафические компоненты экосистем, донные отложения, р. Бурей, Дальний Восток России.

#### ВВЕДЕНИЕ

При рассмотрении проблем экологического состояния природных и создаваемых экосистем большое значение имеют исследования компонентов, которые определяют процессы обмена с внешней средой. Наиболее динамичны эти взаимодействия в зонах современного седиментогенеза, к которым относятся донные отложения рек. Процессы формирования вещественного состава речных отложений представляют интерес для решения фундаментальных проблем геологии, геохимии и экологии [4, 9, 14, 21]. Состав отложений характеризует условия формирования и аккумуляции речных наносов – состав

дренируемых пород, гидрологический режим реки, геологические и тектонические процессы, происходящие в ее бассейне [1, 13, 17]. Под речными наносами понимают совокупность минеральных и органических частиц, поступающих в водные потоки вследствие разрушения горных пород, почвенного покрова, размыва склоновых, речных и озерных отложений и транспортируемых в направлении движения потока. В зависимости от среднего диаметра частиц они подразделяются на фракции валунов, гальки, гравия, песка, пыли и ила. Эти же фракции входят в состав донных отложений вследствие переотложения и аккумуляции наносов. В составе русловых отложений преобладают

относительно крупные частицы. Глинисто-алевритовый материал, переносимый рекой во взвешенном состоянии, в паводки отлагается на пойме в виде наилок. Наилки формируются в основном более мелкими частицами – тонкий песок, пыль, ил. За границу размеров частиц между транзитной (бассейновой) и русловой составляющими наносов обычно принимают ~100 мкм [1, 13, 17]. Именно поэтому в работе отдельно рассмотрены донные отложения русла и наилки. Компоненты речных отложений, образовавшиеся в самых различных условиях, при переносе неоднократно переотлагаются, вовлекаясь в процессы почвообразования в условиях поймы. В результате генетически разнородные взвеси объединяются по принципиально иным признакам – по плотности и размеру частиц [13].

Исследованию минералогического и вещественного состава твердого стока рек бассейна р. Амур посвящено много работ [3, 4, 9, 12, 14, 15, 18]. Никольской В.В. по составу аллювия долин было выделено 13 минералогических провинций, по этой классификации бассейн р. Бурей относят к эпидот-роговообманково-кварцевой. Согласно данным полуколичественного анализа, в легкой фракции минералов аллювия Бурей преобладает кварц, присутствуют калиевые полевые шпаты и плагиоклазы, в тяжелой фракции помимо эпидота и роговой обманки много ильменита, магнетита, присутствуют пироксены, биотит, циркон, рутил и др. [9].

Цель работы – изучение особенностей минералогического состава донных отложений р. Бурей и ее притоков в районе Нижне-Бурейской ГЭС. Это продолжение исследований экосистемы р. Бурей [15]. Ранее было установлено, что различия в вещественном составе (содержание макро- и микроэлементов) донных отложений и наилок Бурей и ее притоков статистически незначимы, что связано с преобладанием на исследуемой территории процессов физического выветривания. В данной работе основное внимание уделено генерализации данных минералогического состава отложений.

#### **ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Работы проводились в среднем и нижнем течении р. Бурей, в зоне влияния Нижне-Бурейской ГЭС (рис. 1). Среднее течение реки (в отличие от ее притоков) имеет выраженный горный характер, большую часть его занимает водохранилище Бурейской ГЭС. На стыке предгорной и равнинной частей заканчивается строительство плотины Нижне-Бурейской ГЭС, водохранилище которой распространится до плотины Бурейской ГЭС. Его наибольшая ширина составит 5 км, площадь акватории – 153.3 км<sup>2</sup>, средняя глу-

бина – 13 м. Сток Бурейской ГЭС через Нижне-Бурейское водохранилище будет проходить транзитом, без стратификации [19].

Бурей и ее притоки по водному режиму относятся к дальневосточному типу. Основным источником их питания – дожди (50–70 % от общего годового стока), вклад подземных источников и снега существенно меньше (10–30 и 10–20 %, соответственно). Притоки Бурей в районе НБГЭС – малой длины, небольшой площади водосбора и низкой минерализации, за исключением р. М. Симичи, минерализация которой достигает 180 мг/дм<sup>3</sup> (табл. 1). Суммарный среднегодовой сток этих рек не превышает 9 м<sup>3</sup>/с [6, 7, 10].

В соответствии со схемами физико-географического районирования, исследуемая территория относится к Амуру-Приморской стране [5] и расположена в пределах Зейско-Буреинской провинции Амуру-Зейской области. Рельеф преимущественно возвышенно-равнинный, на крайнем востоке и северо-востоке – предгорно-холмистый. Большая часть территории представлена равнинными ландшафтами с высотами 200–250 м. Это пологие, холмистые и холмисто-увалистые равнины на интрузивных, вулканических и осадочных породах. На северо-восточном участке распространены денудационные глыбовые предгорья (холмогорья) с высотами 300–350 м.

Климат территории резко континентальный с муссонными чертами. Абсолютный минимум температуры достигает -52°C. Самый теплый месяц – июль с абсолютным максимумом в 41°C. Продолжительность безморозного периода составляет 190 дней. Годовое количество осадков в районе Нижне-Бурейского водохранилища колеблется от 560 до 720 мм, из них до 80 % выпадает в мае–октябре. Большое число дней со среднесуточной температурой ниже нуля градусов, низкие зимние температуры, наличие островной мерзлоты и относительно невысокое количество осадков определяют преобладание на рассматриваемой территории процессов физического выветривания горных пород.

Объект изучения – донные отложения и наилки р. Бурей и ее притоков – рек Синель, Большие и Малые Симичи, Дея, Дикан (рис. 1). Отбор проб донных отложений проводили на участке от пос. Талакан до пос. Новобурейский. Всего отобрано 48 образцов. При отборе проб использовали стандартное оборудование и методики [8, 11].

В основу исследования положены минералогический, гранулометрический и валовой анализы. Минералогический состав определяли в мелкоземе отложений (< 2 мм), дополнительно для отдельных

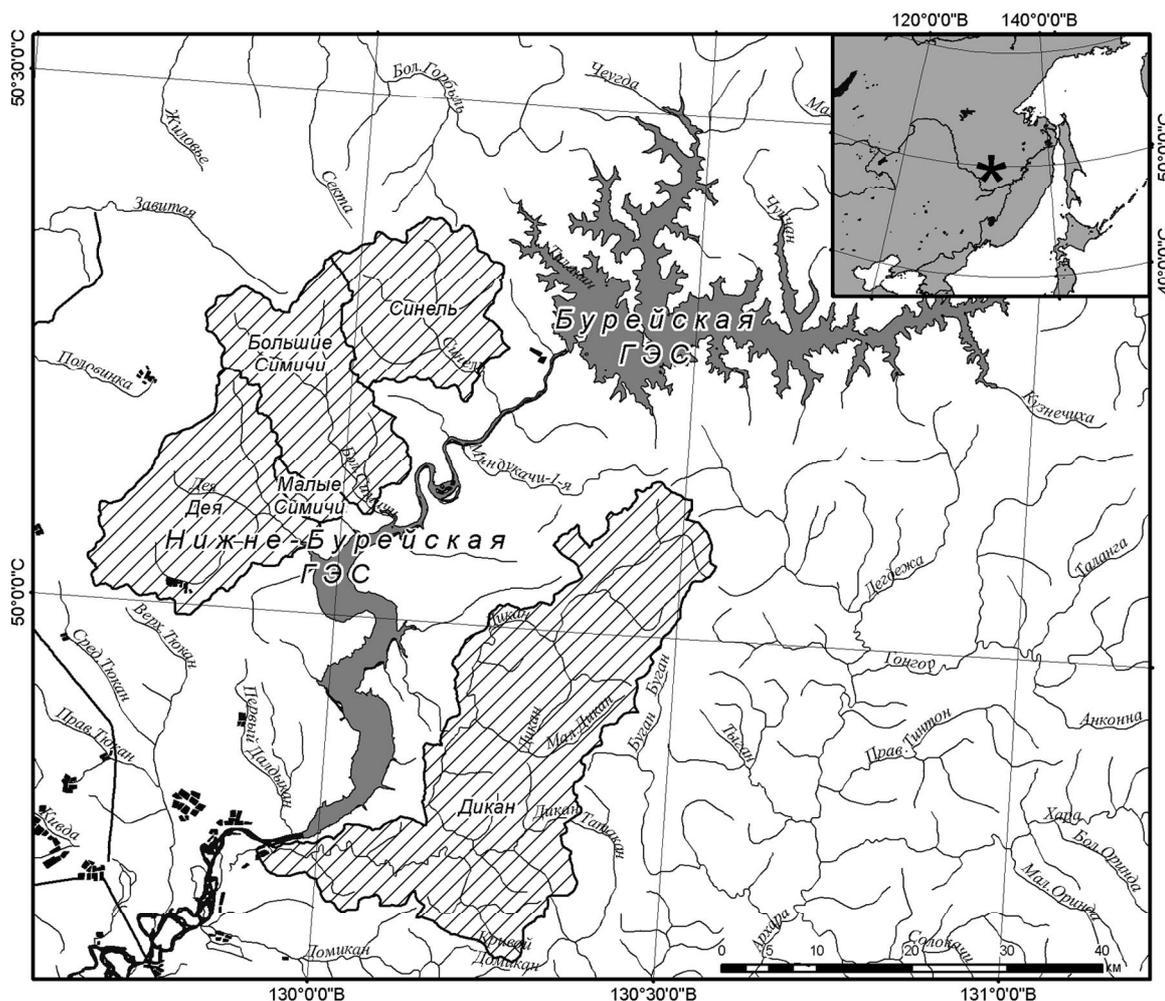


Рис. 1. Карта-схема района работ. Штриховкой показаны бассейны исследуемых притоков р. Бурей.

Таблица 1. Гидрологическая характеристика притоков р. Бурей в районе Нижне-Бурейской ГЭС и состав пород дренируемой ими территории.

Река	Длина, км	Площадь водосбора*, км <sup>2</sup>	Среднегого-летнего стока, м <sup>3</sup> /с	Падение реки, м/км	Минерализация воды, мг/дм <sup>3</sup>	Состав пород дренируемой территории, %			
						Осадочные	Вулканические	Метаморфические	Интрузивные
Бурей	623	707000	900	–	30–80				
Синель	33	245	2.69	3.24	до 60	52.8	0.4	4.5	42.3
Б. Симичи	38	281	1.64	3.66	до 60	55.1	6.3	0	38.6
М. Симичи	11	24	0.19	6.95	до 180	42.4	41.5	0	16.2
Дея	37	330	4.14	2.17	до 60	87.6	11.3	0	1.1
Дикан	125	849	–	2.90	–	15.0	0.9	4.6	79.6

Примечание. Прочерк – данные отсутствуют, \* – площадь водосборной поверхности, дренируемой водотоком до точки отбора проб.

образцов и во фракциях 2–10 и >10 мм [24]. Для определения 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 (2 $\theta$ ) от 3° до 90°. Скорость съемки 1°/мин с шагом 0.02°. Подготовка образцов к дифрактометрическому анализу включала дробление (щелочная дробилка «Pulverisette 1»),

FRITSCH, Германия) и тонкое шадящее измельчение в XRD-мельнице McCrone (Mccrone, Великобритания). Полученный порошок запрессовывали в специальные кюветы. Для количественного расчета минерального состава использовали программу SiroQuant [23, 25]. Минимальная доля определяемого минерала 1 %, погрешность определения составила 5–10 отн. %.

Дифрактометрическое определение минералогического состава образцов было дополнено электронно-микроскопическими исследованиями (РЭМ анализ). РЭМ анализ проводили на сканирующем электронном микроскопе VEGA 3 LMH (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 (BSE-детектор). При получении изображений с помощью BSE-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 X-max 80 (Oxford Instruments, Великобритания).

Гранулометрический состав образцов в целом определяли ситовым методом (распределение частиц размером < 0.25, 0.25–0.5, 0.5–1, 1–2, 2–10 и > 10 мм по массе) [2], фракции мелкозема < 2 мм – методом лазерной дифракции (распределение по объему и числу частиц размером от 0.01 до 2000 мкм) на анализаторе размера частиц SALD-2300 (SHIMADZU, Япония) [22, 24, 26, 27]. Водную суспензию исследуемого образца (навеска зависит от абсорбции полученной суспензии и в среднем составляет от 0.5 до 1 г) для гомогенизации перед анализом в течение 10 с обрабатывали ультразвуком (встроенный ультразвуковой диспергатор).

Валовой состав определяли рентгенофлуоресцентным методом (Pioneer S4, Bruker AXS, Германия), подготовка образцов к анализу включала их дробление и измельчение до размера 200 меш (щекочная дробилка «Pulverisette 1») и планетарная микромельница «Pulverisette 6» соответственно, FRITSCH, Германия), далее порошки были запрессованы с  $H_3BO_3$  в специальные таблетки.

Картографический анализ пространственного распределения горных пород в пределах водосборных бассейнов основных притоков р. Бурей на исследуемой территории выполнен на основе данных SRTM 4.1 и топографических карт М 1:50 000 в программ-

ной среде ArcGIS 10.1 (лаборатория оптимизации регионального природопользования, ИВЭП ДВО РАН, г. Хабаровск). Аналитические работы проведены в лаборатории седиментологии ОАО «ТомскНИПИнефть» (г. Томск), Аналитическом центре ИТиГ ДВО РАН и Центре коллективного пользования ИВЭП ДВО РАН (г. Хабаровск).

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Характеристику минералогического состава донных отложений предварим анализом данных их гранулометрического и валового состава, поскольку они позволяют получить предварительную качественную оценку их минералогического состава. Как показал ситовой анализ, гранулометрический состав донных отложений Бурей варьирует в большом диапазоне значений – от галечников до пылеватых частиц (табл. 2). По соотношению отдельных фракций отложения – галечно-гравийно-песчаные. Гравийные отложения характерны для станций, расположенных выше НБГЭС: содержание частиц 2–10 мм составляет 30–70 %, мелкозема мало. Содержание его растет вниз по продольному профилю реки к плотине Нижне-Бурейской ГЭС от 20–30 до 60–70 %. В отличие от Бурей отложения ее притоков представлены главным образом мелкоземом (90–100 %), преимущественно песчаными фракциями. Только для донных отложений рек М. Симичи и Дикан отмечено высокое содержание гравия – 39 и 48 %, соответственно, что связано в первом случае с высоким вкладом на дренируемой территории вулканических пород и интрузивных – во втором. Кроме того, состав речных отложений на том или ином створе зависит от транспортирующей способности потока. Бурей до плотины НБГЭС имеет горный характер и высокую скорость течения, ее притоки характеризуются извилистостью, небольшой глубиной и слабым течением.

Электронно-микроскопические исследования мелкозема (рис. 2) показали, что частицы донных отложений Бурей и ее притоков практически не окатаны и не отсортированы, что свидетельствует о незначительном переносе материала от источника сноса. По сравнению с Бурей (рис. 2 а) мелкозем отложений ее притоков содержит существенно больше высокодисперсных частиц, но основа его представлена более крупными (рис. 2 б).

Анализ гранулометрического состава мелкозема методом лазерной дифракции (рис. 3) подтвердил данные электронной микроскопии: средний размер частиц мелкозема притоков существенно больше, чем главной реки. Последнее проявляется на дифференциальных кривых распределения частиц по объему (рис. 3 а, в). В мелкоземе донных отложений прито-

Таблица 2. Распределение частиц по размерам в донных отложениях р. Бурей и ее притоков района Нижне-Бурейской ГЭС, %.

Номер и положение станций отбора	n	Размер фракции, мм							
		>10	2–10	1–2	0.5–1	0.25–0.5	< 0.25	< 2	< 0.01**
р. Бурей									
1 пос. Талакан	2	6.4	69.6	6.4	7.2	2.0	8.4	24.0	0
8 выше НБГЭС	1	5.5	48.0	10.3	3.8	9.3	23.1	46.5	0
10 Николаевский перекат*	1	0	0	7.0	1.6	3.4	88.0	100	3.6
Притоки р.Бурей									
2 р. Синель	2	1.9	2.0	3.3	8.4	69.4	14.1	95.2	0
4 р. Б. Симичи	1	0	0.3	10.3	17.8	56.6	14.9	99.7	0
5 р. М. Симичи	1	0.6	38.9	28.4	12.3	14.6	5.2	60.6	0
6 р. Дея	2	3.7	0.5	11.6	27.5	53.9	2.7	95.8	0
7 р. Дикан	2	2.5	48.2	22.6	10.3	11.0	5.4	49.3	0
р. Дикан*	1	0	0.2	7.9	5.1	22.4	64.4	99.8	1.1

Примечание. \* – наилки, \*\* – содержание физической глины в мелкоземе.

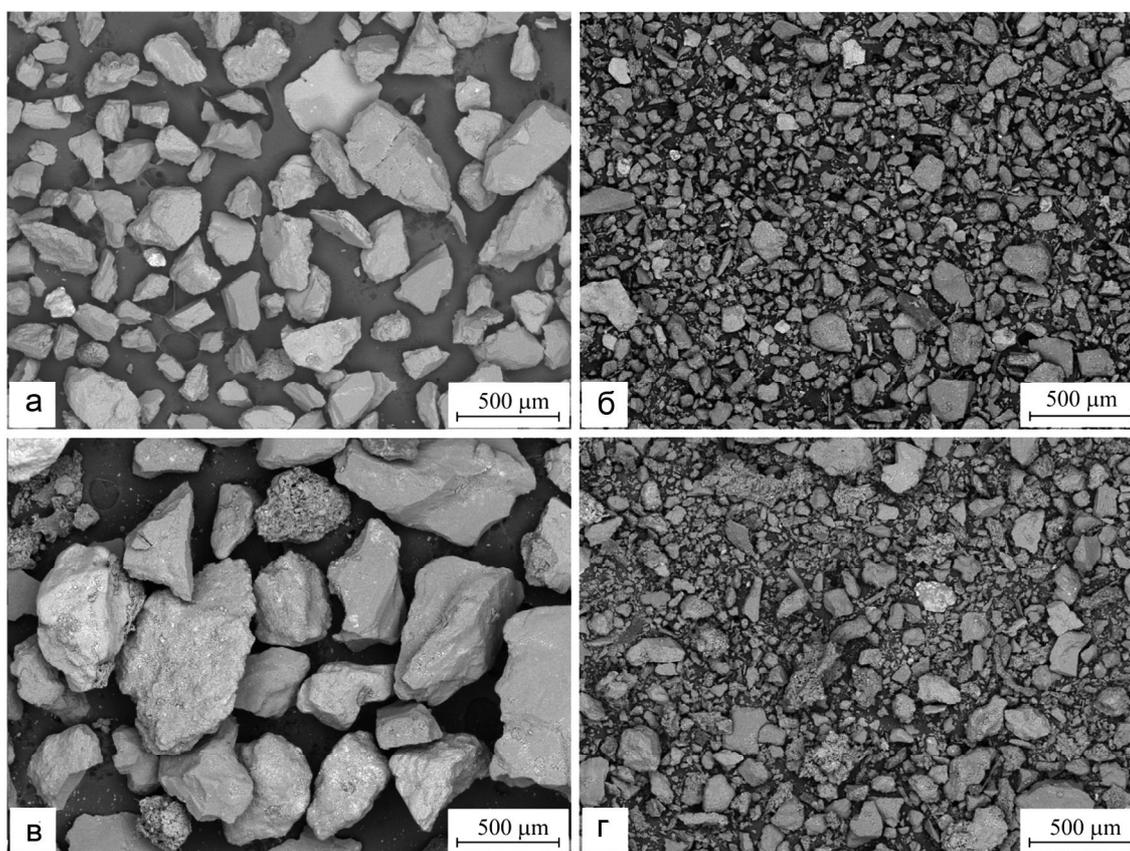
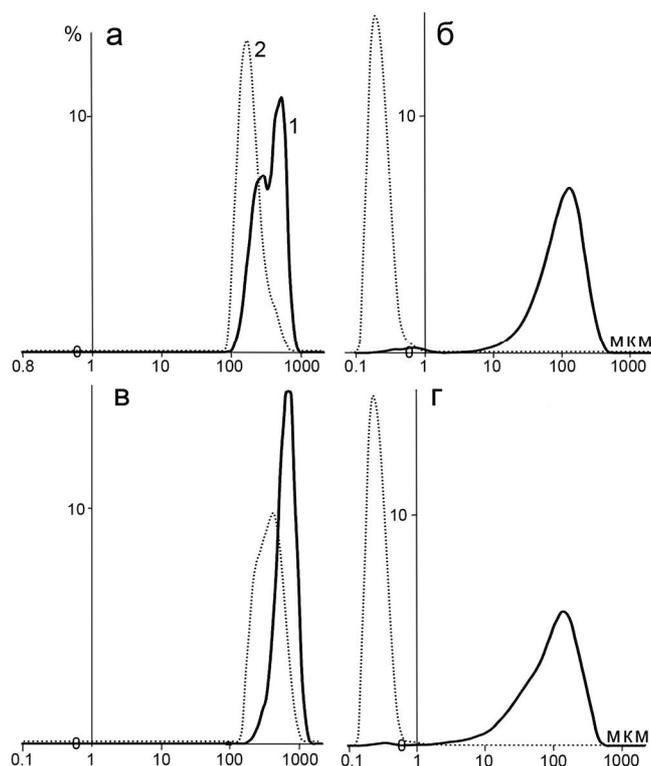


Рис. 2. Микрофотографии мелкозема отложений Бурей (а, б) и ее притока Б. Симичи (в, г): а, в – донные отложения; б, г – наилки (РЭМ, BSE-детектор).

ков преобладающей является фракция крупного (500–1000 мкм, до 80 % по объему), главной реки – среднего песка (250–500 мкм, до 50 % по объему). Наилки главной реки и притоков по гранулометрическому составу весьма схожи (рис. 3 б, г) и представлены главным образом мелким песком (50–250 мкм, до 50 % по

объему). Положение максимумов на их дифференциальных кривых (100–150 мкм) практически совпадает с границей размеров между транзитной и русловой составляющими наносов в 100 мкм, предложенной в свое время Страховым Н.М. [13]. Физической глины (размер частиц < 0.01 мм) в составе донных отложе-



**Рис. 3.** Распределение частиц в мелкоземе (дифференциальные кривые) отложений Буреи (а, б) и ее притока Б. Симичи (в, г).

а, в – донные отложения, б, г – наилки. Распределение по объему (1) и числу частиц (2).

ний Буреи и ее притоков крайне мало, даже в наилках ее содержание не превышает 5 %, что связано с преобладанием на исследуемой территории процессов физического выветривания.

Различия в гранулометрическом составе донных отложений главной реки и ее притоков наиболее четко проявляются в распределении числа частиц определенного размера. Так, донные отложения Буреи более отсортированы: они почти на 80 % представлены фракцией мелкого песка. Заметим, что по сравнению с объемным распределением пики преимущественных фракций числовых распределений сдвигаются в область меньших размеров, поскольку объемный вклад частиц меньшего диаметра в общее распределение ниже (объем частиц есть кубическая функция от их диаметра). Отложения притоков отсортированы в меньшей степени, что связано с меньшей по сравнению с главной рекой транспортирующей силой потока. Они представлены тремя фракциями: мелкий, крупный и средний песок с преобладанием последнего (~20, 30 и 50 %, соответственно). Таким образом, мелкозем донных отложений русла главной реки более переработан, отсортирован и представлен

частицами существенно меньших размеров, чем ее притоков. Наилки по распределению частиц весьма схожи. В наилках как главной реки, так и ее притоков по числу частиц абсолютно (до 100 %) преобладают илестые частицы.

Анализ генерализованных данных валового состава отложений (табл. 3) показал, что он соответствует генезису пород водосборного бассейна конкретного водного объекта. Так, отложения района преимущественного распространения пород кислого состава (притоки М. Симичи и Дея) отличаются повышенным содержанием  $\text{SiO}_2$  (80–88 %) и меньшим содержанием  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  и  $\text{Na}_2\text{O}$  (6.5–8.3, 0.3–0.4 и 1.0–1.1 %, соответственно). Для районов преобладания осадочных и магматических пород основного состава (притоки Синель, Б. Симичи, Дикан) содержание  $\text{SiO}_2$  при повышенном содержании  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  и  $\text{Na}_2\text{O}$  (10.8–12.9, 0.7–2.0 и 2.0–3.9 %, соответственно) существенно ниже (61–73 %). Однако разница в валовом составе отложений притоков при преобладании физического выветривания не проявляется в их гранулометрическом составе, который на исследуемой территории определяется, главным образом, их (водотоков) гидрологическими характеристиками. По-видимому, по той же причине (влияние процессов физического выветривания) различия в валовом составе донных отложений и наилок незначимы, хотя принято считать, что дифференциация речных наносов на донные отложения и наилки приводит к существенному различию их валового и минералогического состава [3, 13].

Согласно данным рентгенофазового дифрактометрического анализа (табл. 4), основу минералогического состава донных отложений и наилок Буреи и ее притоков составляют каркасные минералы: среднее суммарное содержание полевых шпатов и кварца достигает 90 % с преобладанием последнего (42–56 %). Пониженные содержания кварца в донных отложениях Буреи (24–32 %) связано с аккумуляцией тонких фракций (< 0.25 мм): на данном участке (стык предгорной и равнинной частей бассейна) происходит разгрузка речных наносов. Накопление кварца отмечается ниже – на Николаевском перекате, где его содержание даже в наилках достигает 50 %.

В соответствии с данными валового анализа, для притоков четко проявляется влияние состава дренируемых пород на минералогический состав донных отложений. Так, отложения района преимущественного распространения вулканических пород кислого состава (притоки М. Симичи и Дея) отличаются повышенным содержанием кварца (51–56 %) и калиевых полевых шпатов (26–29 %) и существенно меньшим содержанием плагиоклазов (15–21 %). В отложе-

Таблица 3. Средние содержания макроэлементов в речных донных отложениях района Нижне-Бурейской ГЭС, %.

Номер и положение станции отбора	n	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
р. Бурей											
1. Ниже плотины БГЭС	2	71.21	0.22	12.68	1.37	0.04	1.35	0.28	3.95	3.78	0.08
8. Выше плотины НБГЭС	2	64.32	0.43	13.58	3.29	0.08	2.39	0.98	4.31	3.61	0.14
10. Николаевская коса	3	65.99	0.38	12.50	2.95	0.17	1.49	0.93	3.37	3.23	0.12
Притоки р. Бурей											
2. р. Синель	6	72.86	0.25	11.08	1.41	0.05	1.03	0.33	2.39	3.89	0.08
4. р. Б. Симичи	5	68.72	0.29	10.83	2.19	0.11	0.71	0.28	1.97	3.90	0.11
5. р. М. Симичи	3	88.02	0.16	6.52	1.17	0.08	0.42	0.25	1.04	2.16	0.04
6. р. Дея	4	80.63	0.21	8.29	1.10	0.06	0.30	0.15	1.18	3.82	0.06
7. р. Дикан	5	61.07	0.52	12.92	3.49	0.14	2.04	0.81	3.89	3.22	0.17

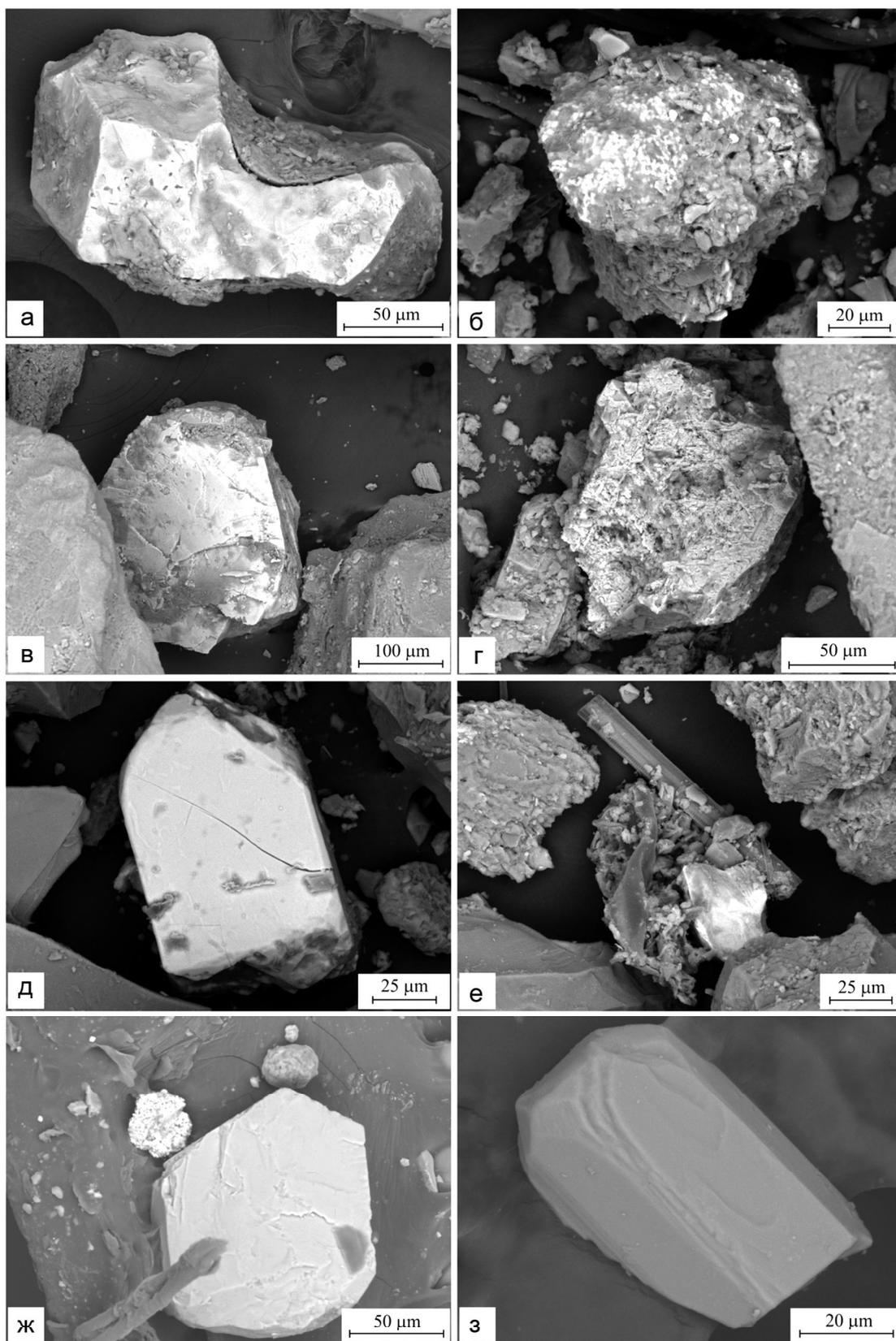
ниях районов преимущественного распространения осадочных и интрузивных пород основного состава (притоки Синель, Б. Симичи и Дикан) с высоким до 30 % и повышенным содержанием плагиоклазов и амфиболов содержание кварца и калиевых шпатов ниже (42–50 и 13–24 %, соответственно). Разница их средних значений более чем в два раза превышает стандартное отклонение по выборке. Своеобразным индикатором преобладания интрузивных пород в бассейне водосбора является появление в составе отложений кристобалита (0.54–1.7 %), который отсутствует в отложениях районов преимущественного распространения вулканических пород. Данные минералогического состава отложений, как и распределения частиц по размерам, свидетельствуют о преобладании на исследуемой территории процессов физического выветривания. Так, минералогический состав гравийной фракции донных отложений (2–10 мм) р. М. Симичи отличается от такового мелкозема (< 2 мм) главным образом пониженным содержанием плагиоклазов (15 и 20 %, соответственно) и присутствием доломита.

Акцессорные минералы, содержание которых менее одного процента, и соответственно методами рентгеновской дифрактометрии не обнаружены, были диагностированы методами РЭМ и РСМА анализа. Согласно полученным данным, отложения Бурей и ее притоков характеризуются близким составом акцессорных минералов, поскольку бассейн Бурей по составу аллювия представляет собой единую минералогическую провинцию [9]. Это акцессории эпидот-роговообманковой ассоциации, из которых основными являются ильменит FeTiO<sub>3</sub>, магнетит Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, циркон ZrSiO<sub>4</sub>, апатит Ca<sub>5</sub>[PO<sub>4</sub>]<sub>3</sub>(F, OH)] (рис. 4), смешанные фосфаты редкоземельных элементов (La, Ce, Nd, Y, Yb, Pr, Er, Gd) и барит BaSO<sub>4</sub> (рис. 5).

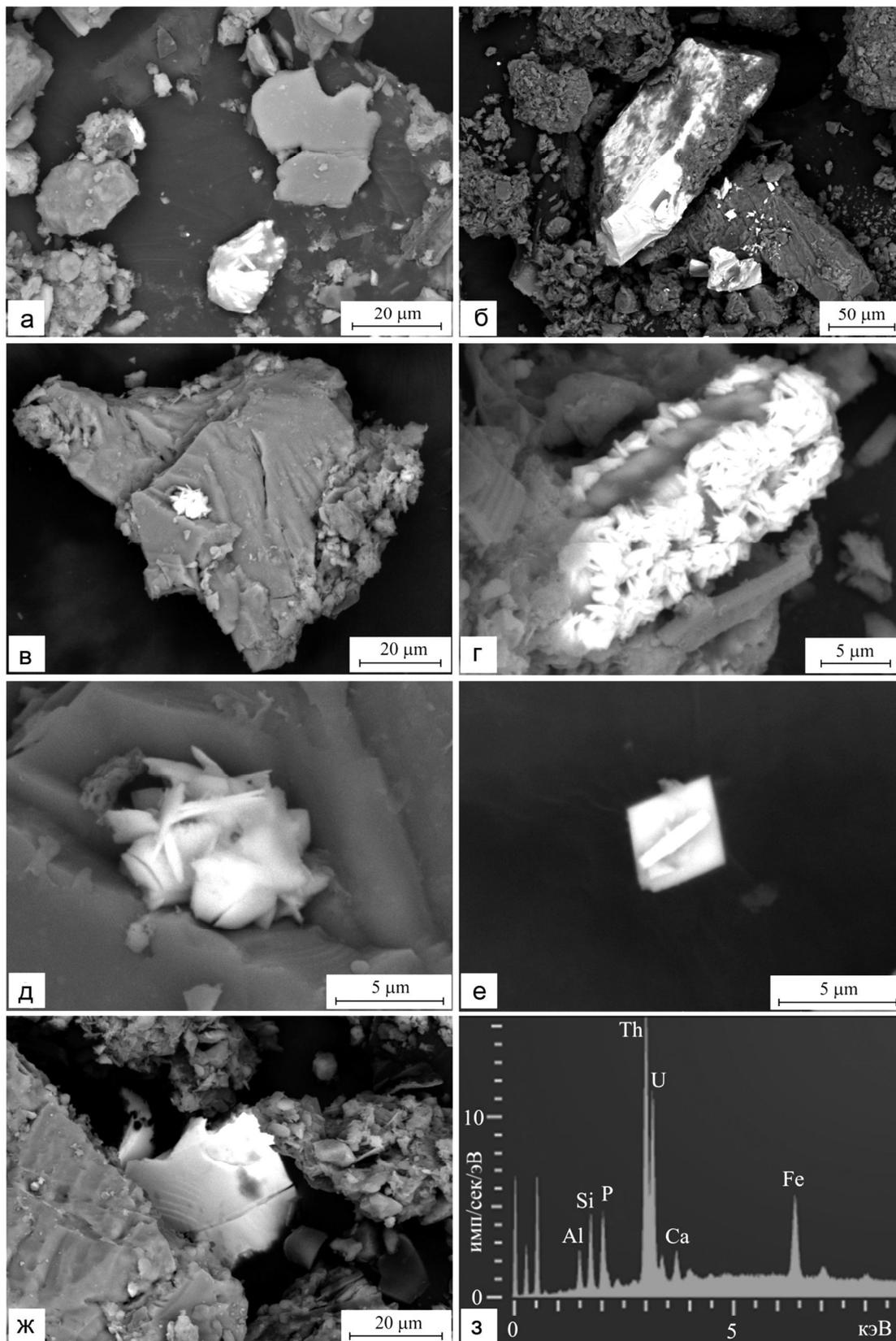
Различия отложений притоков зависят от типа пород дренируемой территории и проявляются в размере и степени выветрелости зерен акцессорных ми-

нералов. Так, максимальным размером зерен акцессориев отличаются отложения р. Дикан, что связано с преобладанием (~80 %) в ее бассейне магматических пород. Ильменит в донных отложениях Дикана представлен зернами размером до 200 мкм (рис. 4 а), преимущественный размер зерен ильменита в других притоках Бурей не превышает 100 мкм, он встречается также в виде микровключений в зернах первичных минералов. 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 100 мкм (рис. 4 б). Максимальный размер зерен магнетита и циркона (300 и 150 мкм, соответственно) также отмечен для донных отложений Дикана, как и выветрелых аналогов в наилках (рис. 4 в–д). В наилках зерна циркона размером 10–50 мкм встречаются и в составе глинистых микроагрегатов (рис. 4 е). Наиболее крупные зерна апатита встречаются в отложениях Бурей, причем в зависимости от химического состава они имеют разную форму: фторапатит представлен гексагональными кристаллами размером до 120 мкм (рис. 4 ж). Менее устойчивый гидроксилapatит встречается в виде кристаллов размером 70–90 мкм призматической формы (рис. 4 з).

Смешанные фосфаты редкоземельных элементов (La, Ce, Nd, Y, Yb, Pr, Er, Gd) в отложениях притоков Бурей встречаются главным образом в виде пленок на поверхности зерен каркасных минералов, микровключений, отдельных пластинчатых зерен и лучистых агрегатов размером 5–20 мкм (рис. 5 а). Наиболее крупные размером до 200 мкм уплощенные клиновидные зерна фосфатов РЗЭ (рис. 5 б) диагностированы в донных отложениях р. Дикан. Кроме того, в отложениях Дикана были зафиксированы также ксеноморфные железистые образования размером до 40 мкм, содержащие основной спутник редкоземельных элементов – торий. Согласно данным РСМА анализа, содержание Th в них крайне высокое (до



**Рис. 4.** Микрофотографии зерен ильменита (а, б), магнетита (в, г), циркона (д, е) и апатита (ж, з). а–е – отложения р. Дикан, ж–з – отложения р. Буряя, остальные пояснения в тексте (РЭМ, BSE-детектор).



**Рис. 5.** Микрофотографии зерен смешанных фосфатов РЗЭ (а, б), барита (в–е) и железистых выделений Th и U (ж, з). а – отложения р. Б. Симичи; б, ж, з – отложения р. Дикан; в, д – отложения р. Дея; г, е – отложения р. М. Симичи, остальные пояснения в тексте (РЭМ, BSE-детектор).

Таблица 4. Минералогический состав донных отложений района Нижне-Бурейской ГЭС, %.

Номер и положение станции отбора	Объект	Каркасные минералы				Легочные			Слоистые минералы				Карбонаты		
		Кварц		Полевые шпаты		Тремолит	Хлорит	Мусковит/иллит	Каолинит	Кальцит	Доломит	Кварц		Полевые шпаты	
		Кристобалит	Терригенный	Калиевые	Плагиоклаз							Кальцит	Доломит		
1	Нижне плотины БГЭС	ДО (2–10 мм)	0	47.60	14.50	32.40	0	0	3.50	2.00	0	0	0	0	0
		ДО	0	41.60	29.80	25.10	0	0	2.30	1.20	0	0	0	0	0
		ДО (2–10 мм)	0	32.20	23.10	25.30	4.30	0.00	11.60	3.50	0	0	0	0	0
8	Выше НБГЭС	ДО	0	23.50	10.60	41.30	7.80	2.30	9.30	5.20	0	0	0	0	0
		Н	0	50.50	12.60	25.30	1.50	4.50	2.50	3.10	0	0	0	0	0
2 4 5 6 7	р. Синель р. Б. Симичи р. М. Симичи р. Дея р. Дикан	ДО	1.10	48.90	16.80	28.50	0	0	0	2.60	1.00	1.10	0	0	
		ДО	0.47	50.23	24.07	22.10	0	0	0.73	2.40	0	0	0	0	
		ДО (2–10 мм)	0	56.10	26.50	15.20	0	0	0	1.10	0	1.10	0	1.10	
		ДО	0	52.70	26.50	20.80	0	0	0	0.00	0	0	0	0	
		ДО	0	51.20	29.20	16.50	0	0	1.70	1.40	0	0	0	0	
		ДО	1.40	41.70	13.10	31.80	3.50	1.50	5.10	1.90	0	0	0	0	
		Н	2.60	35.90	17.50	31.20	2.10	5.30	1.50	3.90	0	0	0	0	

Примечание. ДО – донные отложения, фракция < 2 мм; ДО (2–10 мм) – донные отложения, фракция 2–10 мм, Н – наилки.

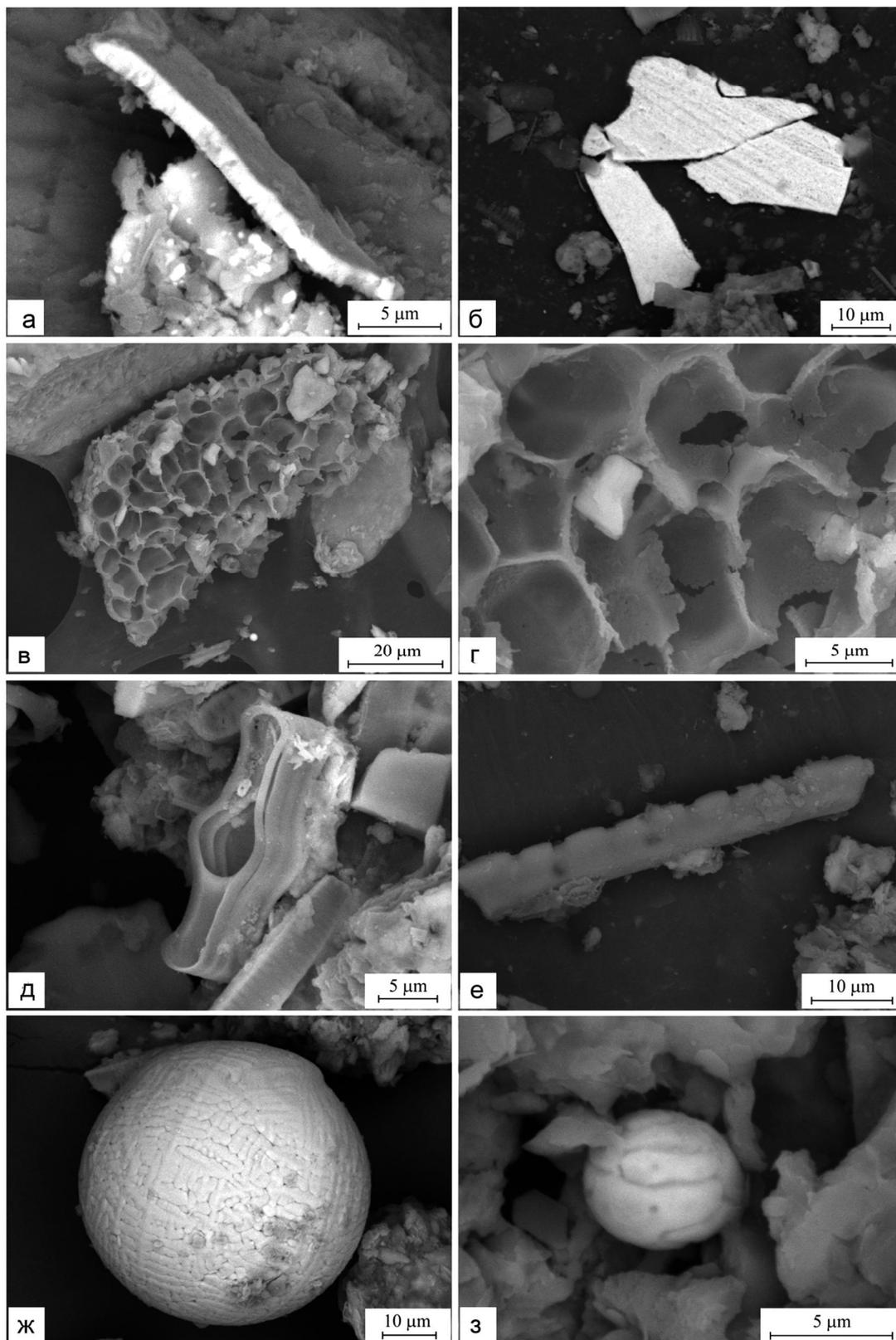
27 ат. %, отношение Fe:Th ≈ 1:1), ему в качестве примеси сопутствует U (рис. 5 ж, з).

Различия отложений определяются не только составом пород дренируемой территории, но и, как в случае отложений р. М. Симичи, составом и минерализацией речных вод. Так, аутигенный барит в донных отложениях, как признак присутствия Ва в подземных водах межгорных артезианских бассейнов, в донных отложениях и наилках остальных притоков встречается в виде единичных ксеноморфных кристаллов и их агрегатов размером до 5 мкм на поверхности зерен каркасных минералов (рис. 5 в, д). Разгрузка подземных барийсодержащих вод в бассейне р. М. Симичи приводит к осаждению барита в виде массовых идиоморфных ромбических кристаллов размером до 5 мкм и их агрегатов (рис. 5 г, е). Последнее связано с аномально высоким содержанием бария в воде – до 800 мкг/дм<sup>3</sup> – при среднем его содержании в реках мира в 20 мкг/дм<sup>3</sup> [20].

Как маркер оловорудной провинции [16] в отложениях Буреи и ее притоков встречается олово в виде ксеноморфных зерен касситерита размером 5–10 мкм. Микровключения в каркасные минералы и выделения хрома и меди до 10 мкм встречаются повсеместно. «Крупные» пластины хрома и меди (размером до 100 и 50 мкм, соответственно) отмечены в наилках Буреи и М.Симичи соответственно (рис. 6 а, б). В связи с преобладанием на исследуемой территории процессов физического выветривания единично в наилках Дикана, как результат выветривания основных минералов, было отмечено образование смектита (рис. 6 в, г). Биогенный опал (скелеты диатомовых водорослей и фитолиты) представлен в донных отложениях притоков повсеместно (рис. 6 д, е). Кроме того, в наилках Буреи были зафиксированы железистые по составу новообразования шаровидной формы (рис. 6 ж, з), происхождение которых не вполне ясно. Возможно, это антропогенная пыль, но подобные железосодержащие образования были зафиксированы и в составе глинистых микроагрегатов, поэтому, вероятнее всего, они образуются *in situ*.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основу минералогического состава донных отложений и наилок Буреи и ее притоков составляют каркасные минералы: содержание полевых шпатов и кварца достигает 90 % с преобладанием последнего. Для притоков четко проявляется влияние типа дренируемых пород на минералогический состав донных отложений. Отложения притоков, в бассейне которых преобладают вулканические породы кислого состава (притоки М. Симичи и Дея), отличаются повышенным



**Рис. 6.** Микрофотографии выделений Cr (а), Cu (б), смектита (в, г), диатомовых водорослей (д), фитолитов (е) и шарообразных железистых образований (ж, з).

а, д, ж – отложения р. Бурей, б – отложения р. М. Симичи, в, г – отложения р. Дикан; е, з – отложения р. Б. Симичи, остальные пояснения в тексте (РЭМ, BSE-детектор).

содержанием кварца (более 50 %) и калиевых полевых шпатов. Отложения притоков, в бассейне которых преобладают осадочные и интрузивные породы основного состава (притоки Синель, Б. Симичи и Дикан) с высоким до 30% содержанием плагиоклазов, содержат меньше кварца и калиевых шпатов. Своеобразным индикатором преимущественного распространения интрузивных пород в бассейне водосбора является появление в составе отложений кристобалита.

Отложения Буреи и ее притоков характеризуются близким составом акцессорных минералов. Это акцессории эпидот-роговообманковой ассоциации, из которых основными являются ильменит  $FeTiO_3$ , магнетит  $Fe_3O_4$ , циркон  $ZrSiO_4$ , апатит  $Ca_5[PO_4]_3(F, OH)$ , смешанные фосфаты редкоземельных элементов (La, Ce, Nd, Y, Yb, Pr, Er, Gd) и барит  $BaSO_4$ . Различия отложений притоков зависят от типа пород дренируемой территории и проявляются в размере и степени выветрелости зерен акцессорных минералов. Максимальным размером зерен акцессориев отличаются отложения р. Дикан, что связано с преобладанием в ее бассейне интрузивных пород. Различия отложений определяются не только составом пород дренируемой территории, но и влиянием артезианских вод. Разгрузка подземных барийсодержащих вод в бассейне р. М. Симичи приводит к аномально высоким содержанием бария в воде до 800 мкг/дм<sup>3</sup> и осаждению его в виде барита.

Данные минералогического состава отложений, как и распределения частиц по размерам, свидетельствуют о преобладании на исследуемой территории процессов физического выветривания. Единично, как результат выветривания основных минералов, было отмечено образование смектита. Как маркер оловорудной провинции встречается олово в виде ксеноморфных микрозерен касситерита. Биогенный опал (скелеты диатомовых водорослей и фитолиты) представлен в донных отложениях притоков повсеместно.

#### 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: Высш. школа, 1973. 400 с.
3. Градусов Б.П., Чижикова Н.П. Факторы и география глинистых минералов речного стока // Докл. АН СССР. Т. 234, № 2. С. 425–428.
4. Деркачев А.Н., Николаева А.Н., Горбаренко С.А. Особенности поставки и распределения кластогенного материала в Охотском море в позднечетвертичное время // Тихоокеан. геология. 2004. Т. 23, № 1. С. 37–52.
5. Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М: Высш. школа, 1991. 366 с.
6. Мордовин А.М. Годовой и сезонный сток рек бассейна Амура: Препринт. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 1996. 72 с.
7. Мордовин А.М., Шестеркин В.П., Антонов А.Л. Река Бурея: гидрология, гидрохимия и ихтиофауна. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2006. 149 с.
8. Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 2. Ч. II. Л.: Гидрометеоздат, 1975. 264 с.
9. Никольская В.В. Морфоскульптура бассейна Амура. М: Наука, 1972. 295 с.
10. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 18. Дальний Восток. Вып. 1. Верхний и Средний Амур. Л: Гидрометеоздат, 1966. 780 с.
11. Руководство по гидрологической практике. Л: Гидрометеоздат, 1975. 513 с.
12. Сиротский С.Е., Харитонов Г.В., Ким В.И., Климин М.А., Чижикова Н.П., Тюгай З., 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.
13. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. Т. I. М: Изд-во АН СССР, 1960. 212 с.
14. Харитонов Г.В., Сиротский С.Е., Чижикова 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.
15. Харитонов Г.В., Остроухов А.В., Уткина Е.В., Коновалова Н.С., Стенина А.С. Микроэлементный состав донных отложений реки Бурея района Нижне-Бурейской ГЭС // Тихоокеан. геология. 2015. Т. 34, № 5. С. 96–107.
16. Хокс Х.Е., Уэбб Дж. Геохимические методы поиска минеральных месторождений. М: Мир, 1964. 487 с.
17. Чалов Р.С. Руслведение: теория, география и практика. Т. 1. Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 608 с.
18. Чижикова 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.
19. Шестеркин В.П., Сиротский С.Е., Шестеркина Н.М. Воздействие гидроэнергетического строительства на содержание и сток растворенных веществ в воде реки Бурея // Водное хоз-во России. 2014. № 4. С. 72–83.
20. Шестеркина Н.М., Шестеркин В.П. Микроэлементы в воде притоков Нижне-Бурейского водохранилища // Водное хоз-во России. 2016. № 3. С. 15–29.
21. Förstner U., Wittmann G.T.W. Metal Pollution in the aquatic environment. Berlin: Springer, 1983. 486 p.
22. Fraunhofer J. Bestimmung des Brechungs- und des Farbenzerstreungs-Vermögens verschiedener Glasarten, in Bezug auf die Vervollkommnung achromatischer Fernrohre // Annalen der Physik. 1817. V. 56, N 7. P. 264–313.
23. Moore D.M., Reynolds R.C., Jr. X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals // Oxford, New York: Oxford Univ. Press, 1997. 378 p.

24. Rawl A. Basic principles of particle size analysis. Malvern Instruments Technical Paper MRK034.
25. Taylor J.C. Computer programs for standardless quantitative analysis of minerals using the full powder diffraction profile // Powder Diffract. 1991. N 6. P. 2–9.
26. Wolform R.L. The language of particle size // J. GXP Compliance, 2011. V. 15, N 2. P. 10–20.

*Рекомендована к печати О.В. Чудаевым*

***M.V. Shaldibin, G.V. Kharitonova, A.V. Ostroukhov, IN. Krutikova, Yu.M. Lopushnyak, E.S. Deyeva,  
V.P. Shesterkin***

### **Mineralogy and composition of the Bureya River bottom deposits in the Nizhnebureya hydropower station district**

By using methods of sieve analysis, X-ray and laser diffractometry, X-ray fluorescence analysis, scanning electron microscopy and energy dispersive analysis, the composition of bottom sediments of the Bureya River and its tributaries in the area of the Nizhnebureya HPP was studied. It is established that the gross and mineralogical composition of the tributary deposits correspond to the genesis of the catchment basin rocks. However, the difference in the material composition of the tributaries is not manifested in their granulometric composition due to the predominance of physical weathering processes on the investigated territory. It is shown that framework minerals make up the basis of the mineralogical composition of bottom sediments of the Bureya River and its tributaries: the content of feldspars and quartz reaches 90 %, with the quartz prevalence. For the tributaries, the effect of the type of the drained rocks on the mineralogical composition of bottom sediments is clearly manifested. The deposits of the tributaries, in the basin of which the rocks of the acidic composition predominate, are distinguished by an increased content of quartz and potash feldspars, in the case of predominance of sedimentary and igneous rocks of the basic composition by a high content of plagioclase (up to 30 %). The deposits are similar in the accessory minerals of the epidote-hornblende association. Differences in the manifestation of accessories are determined by both the type of rocks of the drained territory, and the influence of barium-containing artesian waters. Their unloading (the M. Simichi River basin) results in an abnormally high content of barium in the river water (up to 800  $\mu\text{g} / \text{dm}^3$ ) and its precipitation in the form of barite.

***Key words: edaphic components of ecosystems, bottom sediments, Bureya River, Russian Far East.***