

МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ ШЛИХОВОЙ ПЛАТИНЫ РОССЫПЕЙ УРАЛА ПО ДАННЫМ ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

© 2014 г. Б. М. Осовецкий*, А. Г. Баранников**

**Пермский государственный национальный исследовательский университет
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15
E-mail: opal@psu.ru*

***Уральский государственный горный университет
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
E-mail: gprmpi.dep@ursmi.ru*

Поступила в редакцию 03.02.2014 г.

Приводится общая характеристика ряда платиновых и золото-платиновых россыпей Среднего и Северного Урала. Дается описание грануломорфологических особенностей зерен платиноидов. С применением методов электронной микроскопии высокого разрешения изучены микро- и нанорельефы поверхности частиц металла. Последние разделены на две группы: 1) указывающие на особенности внутреннего строения и 2) отражающие влияние внешних факторов экзогенной среды. Особое внимание обращено на различие поверхности зерен платиноидов в россыпях ближнего и дальнего сноса. Сделан вывод о необходимости привлечения методов электронной микроскопии для изучения истории пребывания платиноидов в экзогенных условиях, оценки удаленности коренных источников и других поисковых задач.

Ключевые слова: *россыпи платины, Средний и Северный Урал, электронная микроскопия, микро- и нанорельефы поверхности.*

ВВЕДЕНИЕ

Интерес к изучению морфологических особенностей россыпеобразующих минералов с применением методов сканирующей электронной микроскопии в последние годы возрос в связи с появлением новых возможностей получения полезной информации, имеющей важное генетическое и поисковое значение. В частности, с применением сканирующего электронного микроскопа существенно расширились способы изучения поверхности зерен минералов. Например, для россыпного золота установлено богатство микро- и нанорельефа на его поверхности, их связь с внутренним строением и факторами экзогенной среды [1, 13].

Для зерен россыпной платины, в отличие от золота, до настоящего времени таких исследований значительно меньше. В брошюре А.Б. Макеева и др. [9] представлены электронные снимки с увеличением до 1200 раз с некоторыми деталями строения поверхности зерен платиноидов территории Республики Коми. Описана поверхность платиноидов, обнаруженных в среднеюрских отложениях Сысольской впадины [4]. С применением методов электронной микроскопии изучены платиноиды в хромитах Полярного Урала [8]. Приведены снимки

микровключений размером в несколько микрон в хромитовой руде.

Сотрудниками ИГЕМ РАН на протяжении многих лет ведется изучение платиноидов в россыпях Дальнего Востока с применением различных методов, в том числе электронной микроскопии. В числе типоморфных признаков ими отмечен ряд особенностей микрорельефа поверхности россыпной платины [13].

Методами сканирующей электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа изучена поверхность упорядоченного интерметаллида $Pt_{40}Fe_{60}$. Установлено образование в процессе упорядочения многоуровневой полидоменной структуры с присутствием на поверхности тетрагональных пластин-ламелей, разделенных двойниковой границей. В свою очередь, они состоят из более мелких полидоменных пластин [19].

А.В. Мельниковым [11] под электронным микроскопом изучена морфология поверхности зерен сперилита размером 0.1–0.25 мм. Она характеризуется гладким или равномерно-ямчатым рельефом с чашеобразными углублениями. При увеличении до 2.5 тыс. раз в углублениях обнаружены округлые минеральные новообразования размером 1–2 мкм, что трактуется как результат сорбции ионов из гидротермального раствора.

Особенности строения поверхности кристаллов изоферроплатины из россыпи Кэнкэрэнвеем Майницкой структурно-формационной зоны Корякского нагорья (Чукотка) и месторождения Кондер на севере Хабаровского края исследованы сотрудниками Воронежского госуниверситета с применением методов атомно-силовой микроскопии [5] с разрешением до 1 нм. В результате наблюдений выявлена наноструктурированная поверхность зерен изоферроплатины за счет присутствия кристаллитов нитевидной формы длиной от сотен нанометров до 10 мкм и более, шириной от 180 до 30 нм. Каждый из микро- и нанокристаллитов, в свою очередь, обнаруживает внутреннюю наноблоковую (“паркетную”) структуру, образованную в результате сочетания полигональных наноблоков размером 30, 50 и 100 нм. Выявлена также зависимость характера наноструктуры от состава металла. В частности, отмеченная выше паркетная структура характерна для индивидов с повышенным содержанием примеси осмия. Наоборот, для индивидов с примесью родия установлено присутствие кристаллитов нитевидной формы и треугольных полигональных блоков. Наноблоки ромбической формы отмечены для зерен с примесью палладия.

Приведены также данные об изучении микроноздовым методом рутениридосминов Восточной Тувы с электронными микрофотографиями общего вида зерен с небольшим увеличением [14]. Для платиноидов Вятско-Камской впадины под электронным микроскопом выявлены такие особенности поверхности, как наличие тонкой пористости с выбоинами и трещинами, а также микрослоистости [16].

За рубежом методами электронной микроскопии детально изучены особенности поверхности платиноидов россыпей США и Аляски. В частности, с учетом строения поверхности зерен платиноидов россыпей штата Альберта, сделан вывод о значительном удалении россыпей от источников питания [18].

Таким образом, особенности микро- и нанорельефа зерен платиноидов могут представлять значительный интерес. С одной стороны, поверхностные микро- и наноформы отражают особенности внутреннего строения зерен платиноидов, с другой, – характеризуют влияние факторов внешней среды в экзогенных условиях.

В данной статье приводятся результаты изучения микро- и нанорельефа поверхности зерен шлиховых платиноидов из россыпей Среднего и Северного Урала. Особое внимание уделено различию поверхности платиноидов тех объектов, которые характеризуют россыпи “ближнего сноса” и “дальнего сноса и переотложения”.

Электронно-микроскопические исследования поверхности выполнены на полевом сканирующем электронном микроскопе с холодной эмиссией JSM 7500F фирмы JEOL (Япония) в следующем режиме: рабочее напряжение 15 кВ, ток 10 мкА, рабочее расстояние 8 мм. При выделении микроформ

поверхности авторы ориентировались на элементы размером в единицы и десятые доли микрона. Они наблюдаются в сканирующем электронном микроскопе при увеличениях в несколько тысяч раз. Соответственно, к наноформам отнесены элементы поверхности, для которых хотя бы один параметр (толщина или ширина) находится в пределах величин от 1 до 100 нм. Последние выделяются на электронно-микроскопических снимках, сделанных при увеличениях порядка 50 тыс. раз и более.

Химический состав микровключений, поверхностных налетов и пленок определен на сканирующем электронном микроскопе JSM 6390LV фирмы JEOL с энергодисперсионной приставкой марки IN-CA x-act фирмы Oxford Instruments (Великобритания). Режим работы: рабочее напряжение 20 кВ, сила тока 10 мкА, рабочее расстояние 10 мм. Используются эталоны, изготовленные сотрудниками фирмы JEOL.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучены платиноиды ряда золото-платиновых россыпей Урала. **Аллювиальная россыпь р. Косья** (правый приток в верховьях р. Ис) находится на Среднем Урале и приурочена к обрамлению массива Светлый Бор. Россыпь принадлежит к объектам “ближнего сноса”. Светлоторский массив относится к платиноносным зональным дунит-клинопироксенит-габбровым интрузивам, аналогичным Нижнетагильскому и Вересовый Бор. На основе использования современных аналитических методов исследования обосновывается флюидно-метаморфогенная модель формирования хромит-платиновых руд данного типа [3, 7, 10, 17]. Источником рудного вещества были дуниты и глубинные флюиды. Выделяется два субтипа ферроплатиновых руд – хромитовый и дунитовый. Ранний минеральный парагенезис хромитового субтипа представлен предельно магнезиальными оливинами и хромшпинелидами, высокоиридной изоферроплатиной с низкими содержаниями меди и никеля, со структурами распада платина-иридий. В более позднем парагенезисе установлены менее магнезиальные оливины и хромшпинелиды, более железистая малоиридная тетраферроплатина с высокими содержаниями меди и никеля, ирийдосмин, лаурит и осмий. Описанные руды обладают разной способностью к россыпеобразованию. Если в дунитовом субтипе 70% зерен платиновых металлов имеют лишь “флотационную” крупность, то в хромитовом субтипе более 70% зерен относится к гравитационным (россыпеобразующим) классам крупности.

Многоэтапный процесс формирования платинотетраферроплатиновой минерализации в объеме дунитовых массивов наложил отпечаток на форму, размеры и состав обособлений самородной платины. Обычно металл наблюдался в шлифах в виде редких ксеноморфных выделений, иногда в виде гнез-

довых скоплений в хромите. Наиболее значимые по размеру обособления размером 0.01–0.3 мм, редко до 1–2 мм, тяготеют к перекристаллизованным породам в прикупольных частях массива. Они представлены неправильными, угловатыми, комковидными и изометрическими выделениями, реже мелкими кристаллами кубического габитуса, иногда их сростками [2, 5, 7, 8, 13].

Россыпь р. Косья образовалась в процессе денудационного снижения платиноносного массива. Отнесение данной россыпи к объектам “ближнего сноса” обусловлено наличием ряда признаков. Первым из них является тесная пространственная связь с коренным источником. Соответственно, россыпь приурочена к аллювиальным отложениям долины первого порядка и пространственно тесно связана с элювиальными и элювиально-делювиальными накоплениями.

Екатерининская аллювиальная россыпь юрского возраста (J_{2-3} , лангурская свита) находится на территории одноименного рудно-россыпного узла на Северном Урале. Приурочена к мезозойской Ивдельско-Тагильской эрозионно-структурной депрессии. Наряду с золотом на месторождении отмечено присутствие платины. По составу она близка к металлу массивов платиноносного пояса, располагающихся западнее (на расстоянии порядка 35–40 км). Это позволяет рассматривать объект как платиносодержащую россыпь “дальнего сноса и перетложения”.

Еще одним объектом исследования, пространственно удаленным (до 40–50 км) от первоисточников платины, является участок, располагающийся к северу от разведанной древней ($J_{2-3}ln$) Актай-Талицкой россыпи, также приуроченной к Ивдельско-Тагильской депрессии. Металлоносными являются скопления юрского, раннемиоценового и плиоцен-четвертичного возраста.

Исовская группа золотоплатиновых россыпей расположена в восточном обрамлении Уральского платиноносного пояса. Коренными источниками платины являлись рудоносные массивы дунит-клинопироксенит-габбровой формации в верховьях р. Ис. Изучался металл из техногенных образований, накопленных при промышленном освоении аллювиальных россыпей четвертичного возраста.

Чернореченская россыпь приурочена к одноименному рудному узлу в составе Красноуральской золоторудной зоны Северного Урала. Коренное оруденение представлено жильным и прожилково-вкрапленным золото-сульфидно-кварцевым типами. Месторождение располагается в пределах Ивдельско-Тагильской депрессии. Помимо основного металла (золота) в россыпи присутствует в небольшом количестве платина, претерпевшая также значительный перенос.

Курьинская россыпь на Среднем Урале приурочена к мезозойской депрессии, наследующей на

этом отрезке зону Серовско-Маукского глубинного разлома. Металлоносными являются отложения мелового, раннемиоценового и четвертичного возраста. Наряду с золотом в россыпи присутствуют зерна платины и иридоосмина.

ГРАНУЛОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЛАТИНОИДОВ

В россыпи р. Косья доминируют выделения самородной платины изометрических очертаний (60–80%), в том числе зерна комковидно-гнездовой, комковидно-угловатой и комковидно-уплощенной формы. В меньшей степени представлены уплощенные (таблитчатые), брусковидные разности, реже зерна идиоморфного и гемиидиоморфного облика. Для большинства индивидов характерны крючковатые и неровные очертания. Характер поверхности зерен обычно угловато-ступенчатый, реже ямчатый, иногда ячеистый и занозистый (рис. 1). Наблюдаются отпечатки граней смежных минералов (вплоть до формирования индукционных граней), сохранившиеся, но сильно разложившиеся, минералы вмещающих пород. На поверхности большинства зерен присутствует гипергенная пленка, представленная преимущественно гидроксидами марганца и железа. Окатанность зерен платины варьирует от совсем неокатанных (1–1.5 балла) до средней и хорошей окатанности (3–4 балла); во втором случае зерна приобретают мелкоячеистую или ступенчато-гладкую поверхность. Крупность зерен платиноидов непостоянна: присутствует металл как мелкого (0.25–0.1 мм) и тонкого (менее 0.1 мм), так среднего (1.0–0.25 мм) и реже крупного (более 1.0 мм) классов. По результатам опробования природно-техногенной россыпи по р. Косья, выполненного инженером М.Л. Горбуновой (артель старателей “Невьянский прииск”) по навеске металла в 1512 мг (данные по пяти разведочным линиям на отрезке долины протяженностью 1 км), в гранулометрическом составе платиноидов представлены следующие классы крупности (мм): 2–1 – 6.3%; 1–0.25 – 83%, менее 0.25 – 10.4%. Рассчитанный средний размер зерен платиноидов составил 0.52 мм. Выполненное микрофотографирование зерен платиноидов класса 1–0.5 мм под электронным микроскопом при небольших увеличениях (от 80 до 130) позволило выделить некоторые характерные детали строения их поверхности. К ним относятся неправильная форма зерен, присутствие включений минералов вмещающих пород размером до 100 мкм и более, дырчатость за счет выкрашивания включений, ступенчатый микрорельеф поверхности, характерные вмятины от граней других минералов и т.д. (рис. 2).

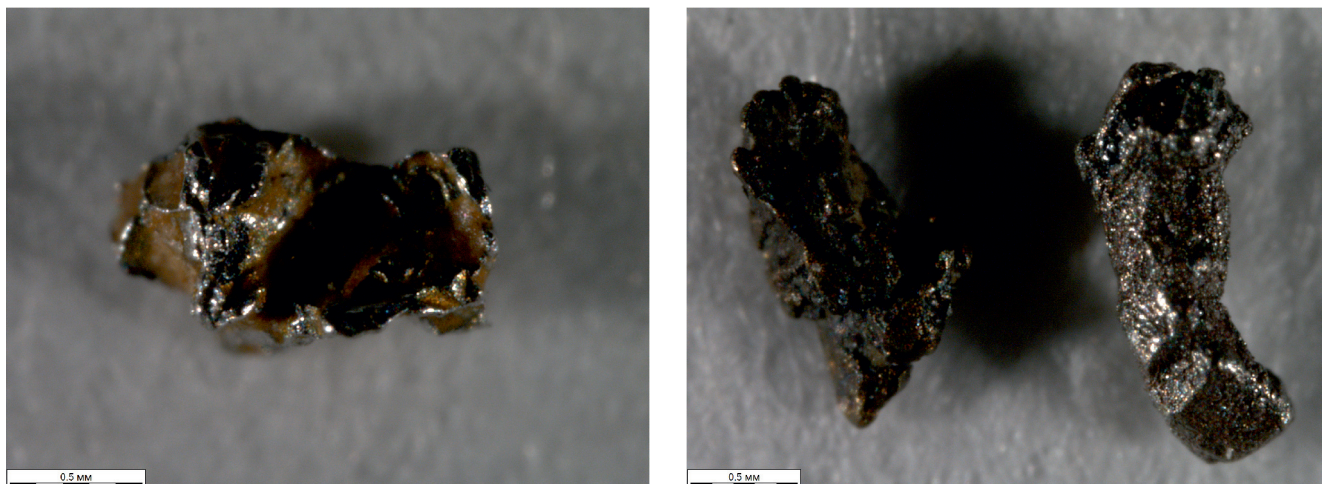


Рис. 1. Типичные зерна платиноидов из россыпи “ближнего сноса” по р. Косья.

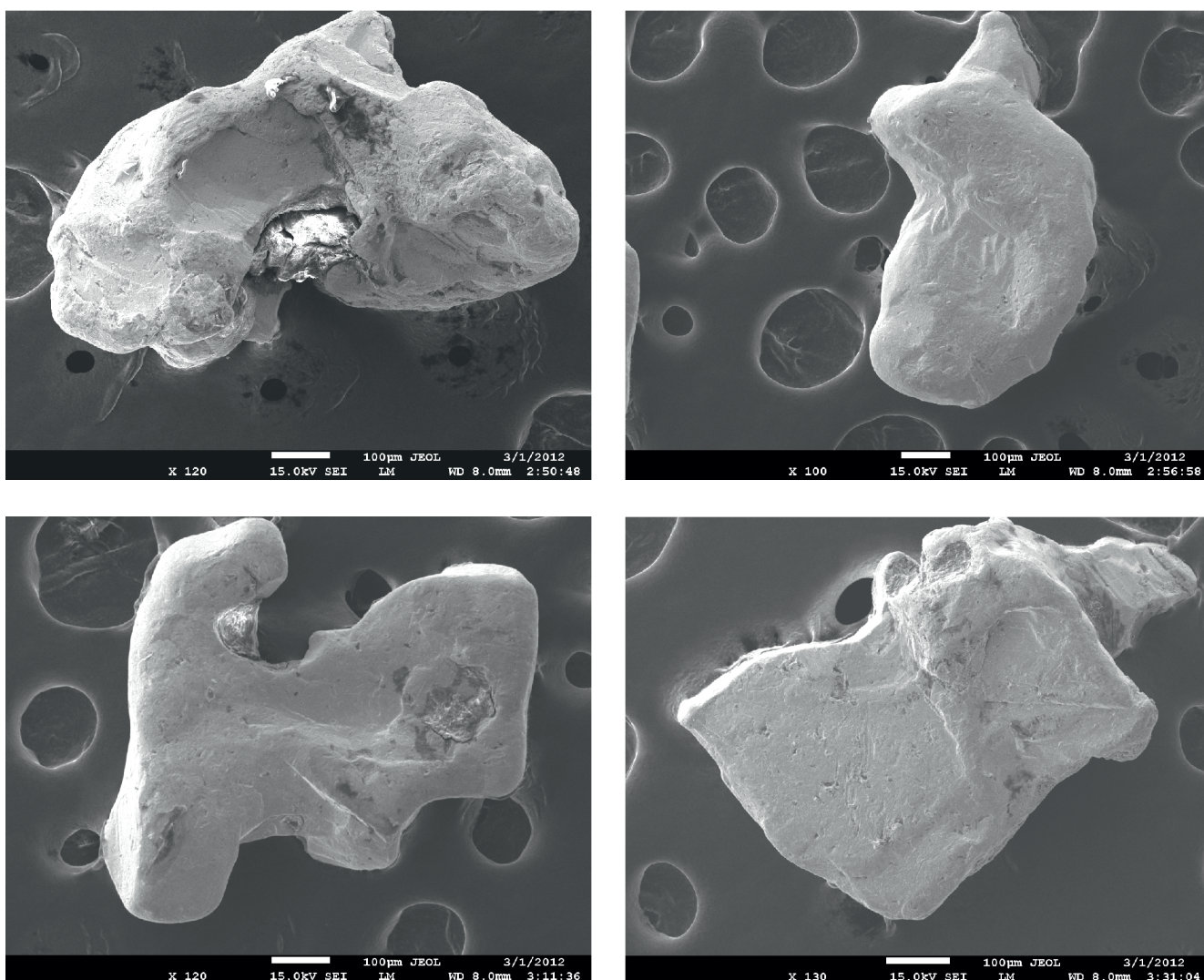


Рис. 2. Зерна различных очертаний изоферроплатины россыпи р. Косья (класс 1–0.5 мм).

В **Актай-Талицкой** россыпи металл приурочен к разновозрастным континентальным отложениям (кроме $J_{2-3}In$, также $N_1^{1-2}пг$, N_2-Q). Основная масса зерен платины относится к мелким классам крупности (мм): 1–0.5 – 3.7%, 0.5–0.25 – 47.6%, 0.25–0.1 – 48.3%, менее 0.1 – 0.2%, средний рассчитанный размер зерна 0.30 мм. В морфологическом спектре частиц преобладают таблитчатые, отчасти комковидные разновидности; присутствуют и другие индивиды – ветвистые, брусковидные и т.д. Окатанность частиц хорошая и совершенная. Электронно-микроскопическое изучение поверхности частиц платины, выбранных в пределах россыпного узла, показало наличие сильно трещиноватых разновидностей, частое присутствие крупных включений, повышенную степень кавернозности и т.д. (рис. 3).

В **Екатерининской** россыпи преобладает металл крупностью 0.5–0.25 и 0.25–0.1 мм. Он пред-

ставлен следующими морфологическими разновидностями:

- уплощенными зернами овально-округлых очертаний (“лепешковидными”) с механически деформированными краями (закругленными, отчасти развальцованными), на долю которых приходится 52%;
- удлинёнными зернами толстотаблитчатой формы с развальцованными и механически обработанными краями (30%);
- зернами комковидно-гнездовой и иной формы “субрудного” облика (18%).

На электронно-микроскопических снимках с небольшими увеличениями отмечены такие особенности строения поверхности, как сглаженность и завальцованность краев зерен, присутствие борозд скольжения, трещиноватость, признаки коррозии, наличие пленок и других новообразований (рис. 4).

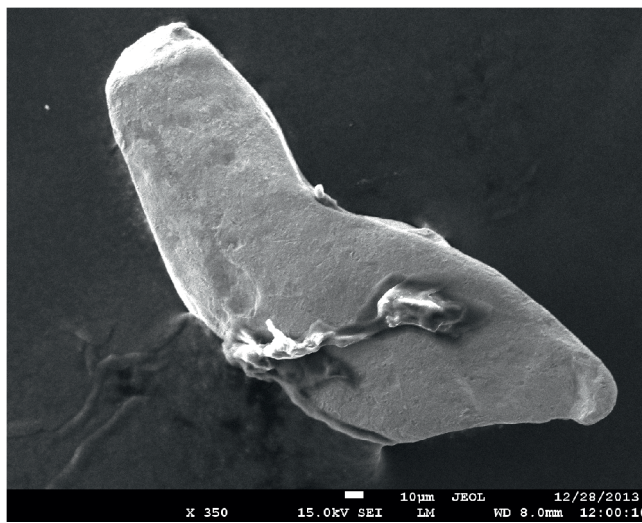
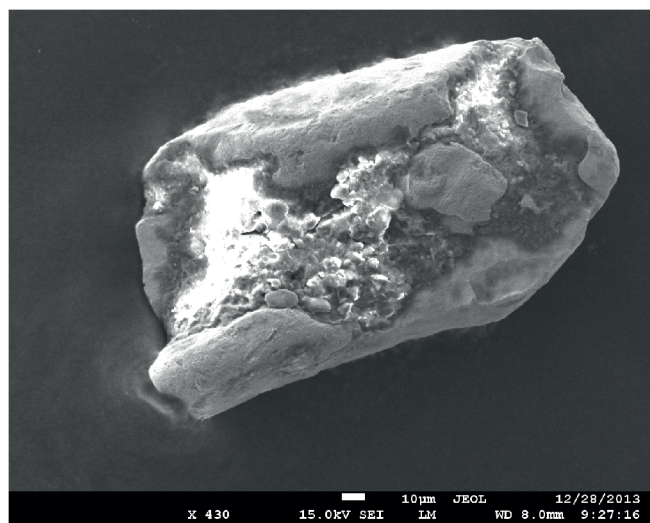
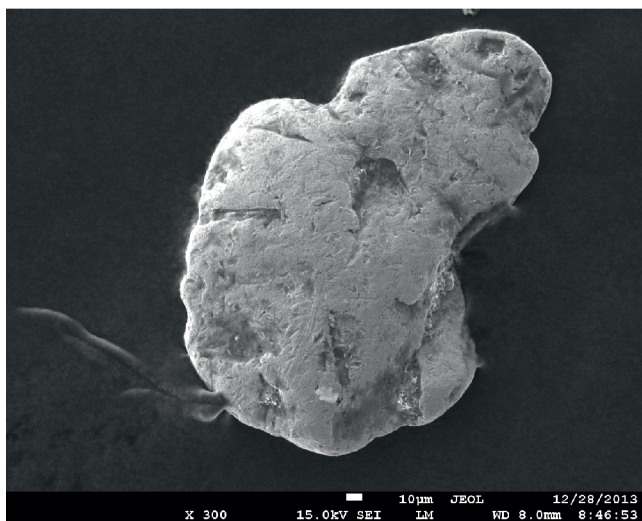
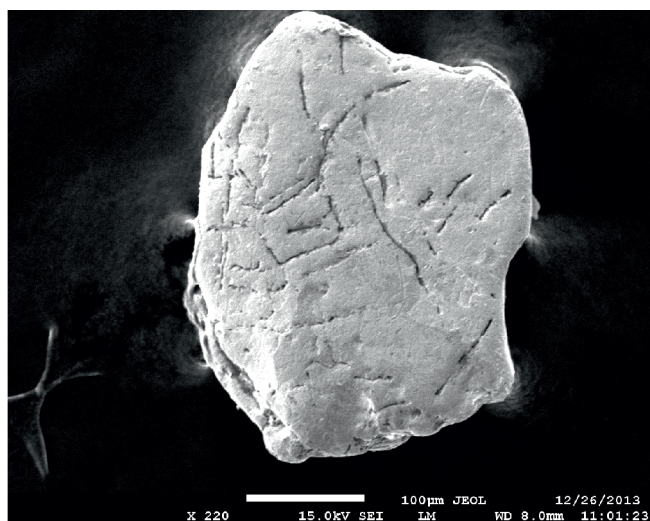


Рис. 3. Иридиевая изоферроплатина Актай-Талицкой россыпи с деформированной поверхностью и крупными включениями.

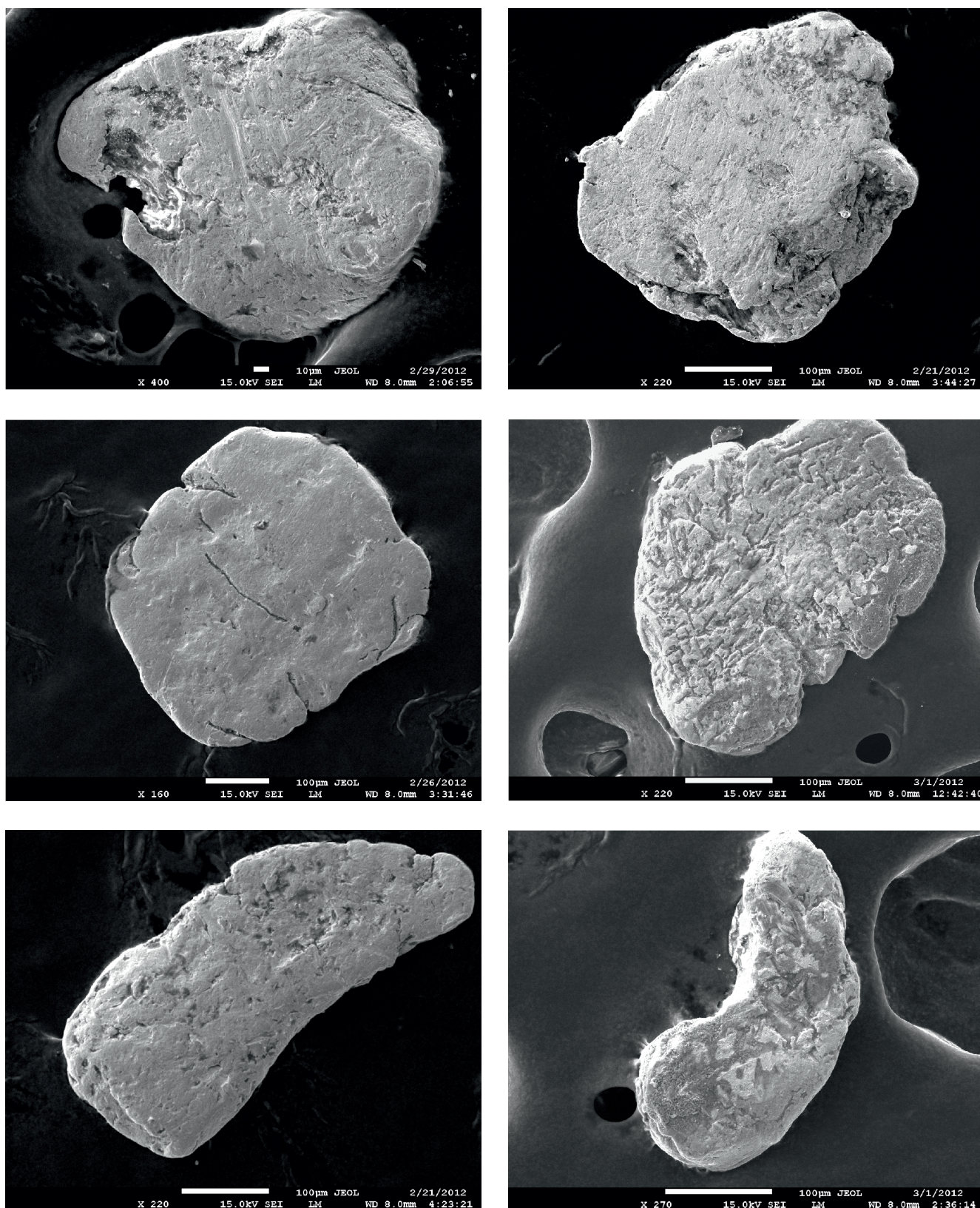


Рис. 4. Зерна изоферроплатины Екатеринбургской россыпи с разнообразными признаками обработки поверхности.

МИКРОФОРМЫ ПОВЕРХНОСТИ ПЛАТИНОИДОВ

Как и для золота [16], структура приповерхностного слоя зерен россыпных платиноидов заметно отличается от таковой центральной зоны. Здесь наиболее отчетливо проявляется влияние факторов внешней среды в виде следов различных деформаций, присутствия адсорбированных комплексов продуктов кор выветривания, признаки миграции элементов-примесей из минерала во внешнюю среду и др. На краях зерен на микроуровне прослеживаются разнообразные следы окатывания частиц.

Среди характерных форм микрорельефа поверхности зерен шлиховой платины можно выделить две группы. К первой относятся различные дефекты и новообразования, отражающие воздействие внешних факторов (следы окатывания, микроборозды, микропоры, поверхностные микровключения, каверны, пленки, налеты и т.д.), ко второй — структурные элементы, указывающие на особенности внутреннего строения зерен.

Микроформы поверхности как отражение влияния внешних факторов

Следы окатывания. Признаки проявления процессов окатывания наиболее заметны при изучении под электронным микроскопом выступающих фрагментов зерен шлиховых платиноидов. Здесь обнаруживается различная степень сглаженности любых выступающих участков, залечивание трещин и других дефектов поверхности, благодаря их заполнению вторичными новообразованиями и микровключениями, завальцевание неровностей поверхности перемещенными слоями металла и т. д.

Следы истирания. Микроразмерные борозды, царапины, тонкие срезы на поверхности платиноидов особенно широко распространены на зернах металла Екатерининской россыпи (рис. 5). Неровность поверхности образующихся срезов, в том числе наличие наноразмерных полос скольжения, свидетельствуют о соответствующих неровностях срезающих объектов. На некоторых зернах отмечено присутствие нескольких систем борозд, имеющих различную ориентировку на поверхности и разную глубину проникновения вглубь зерна.

На поверхности платиноидов Актai-Талицкой россыпи наблюдаются характерные валики на концах микроборозд, свидетельствующие о направлении перемещения массы срезанного с поверхности металла и его закреплении на конечном пункте (рис. 6). Присутствие данных микроформ указывает на относительно низкую степень механической обработки поверхности. При более интенсивном внешнем воздействии описанные формы не могли бы сохраниться, что и наблюдается на зернах платиноидов Екатерининской россыпи. При сравнении присутствующих на зернах платиноидов следов скольжения с таковыми, обнаруженными на зернах золота [16], можно отметить следующие различия: на платиноидах борозды скольжения заметно менее глубокие; кроме того, для них характерна меньшая степень контрастности уступов в пределах каждой борозды. Данные отличия вполне объяснимы с учетом более высокой твердости платиноидов.

Микропористость. Микропоры на поверхности зерен платиноидов присутствуют в качестве одиночных образований либо образуют более или менее сложные системы (рис. 7). Первые различаются размерами, глубиной и формой контура на поверхности в поперечном и продольном срезе. Для

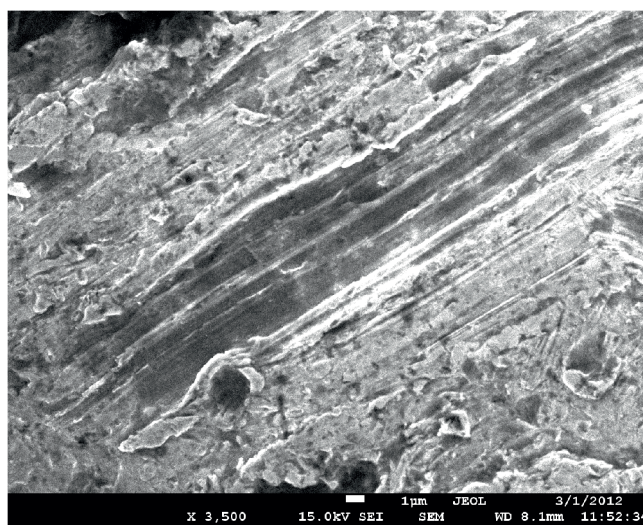
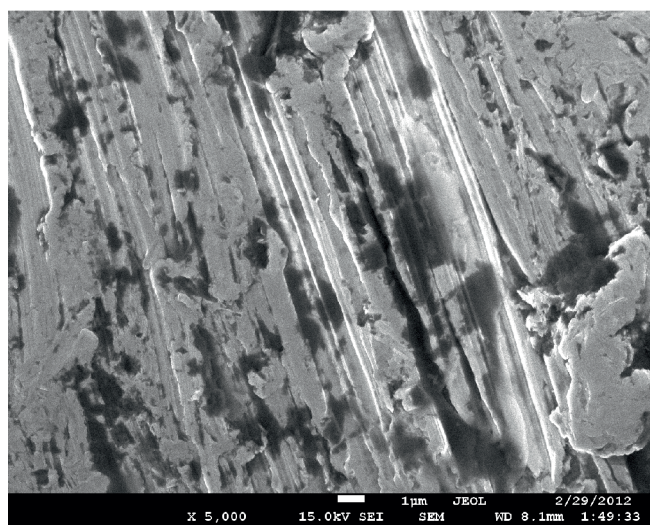


Рис. 5. Микроборозды на поверхности платиноидов Екатерининской россыпи.

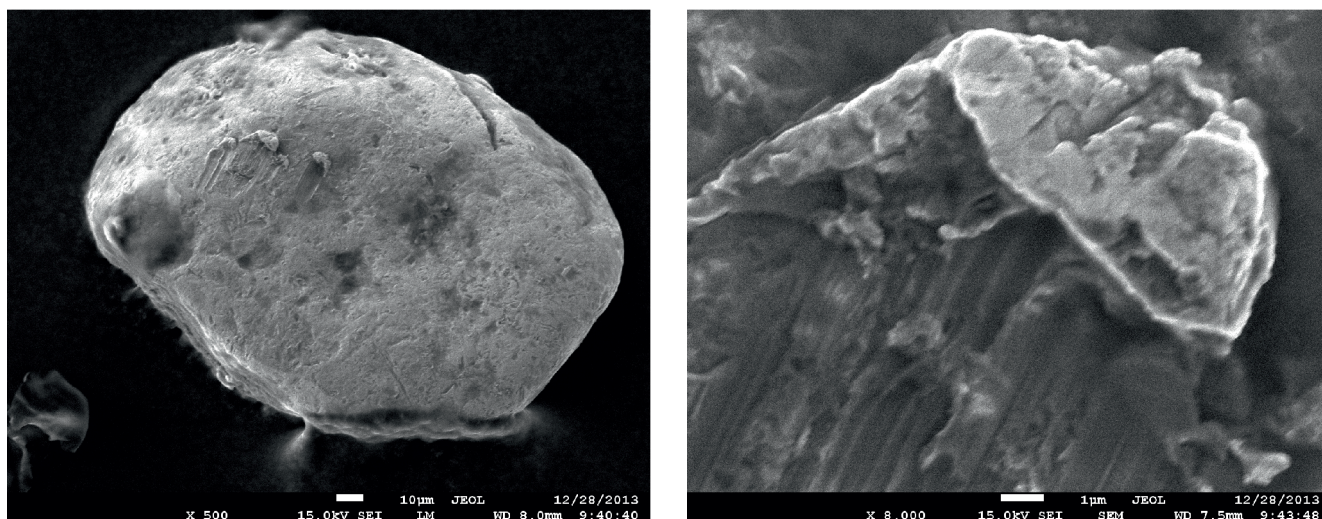


Рис. 6. Срезание поверхностного слоя платиноида Актай-Талицкой россыпи (слева общий вид зерна с тремя бороздами скольжения, справа – окончание одной из борозд).

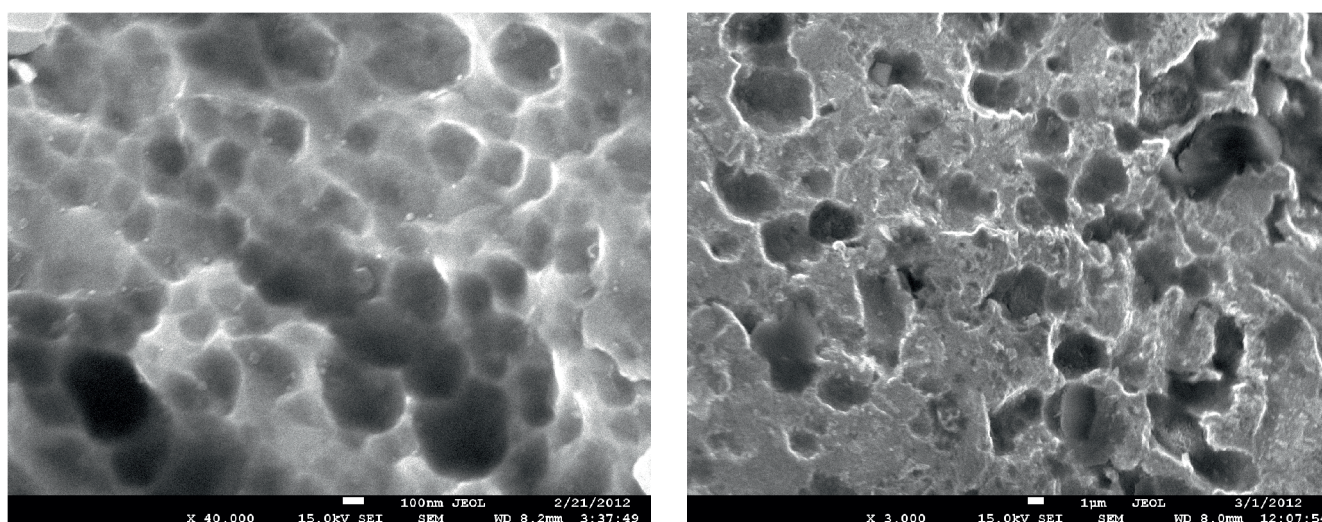


Рис. 7. Микропористость поверхности губчатой изоферроплатины Екатерининской россыпи.

систем микропор важными характеристиками являются плотность расположения и признаки закономерной ориентации на поверхности.

Пористость характеризует интенсивность процессов химического травления, происходившего во время пребывания платиноидов в коре выветривания или в отложениях вторичных коллекторов. Другими причинами пористости может быть присутствие поверхностных газовой-жидких включений или повышенных количеств элементов-примесей в приповерхностном слое. Соответственно микропоры могут указывать на выделение газовой и жидкой фаз в результате разрыва вакуолей, а также на места диффузии примесных атомов в окружающую среду.

Кавернозность. Наличие углублений неправильной формы разного размера, причем, иногда достаточно крупных, нередко наблюдается на поверхности зерен платиноидов (рис. 8). Кавернозность существенно отличается от пористости не только более сложной формой углублений, но и значительно большей их глубиной. При близком их расположении на поверхности, что характерно для зон интенсивного дробления приповерхностного слоя, фиксируются механически ослабленные участки кристаллической решетки. Вероятно, они могут проникать глубоко внутрь зерна.

Налеты на поверхности. Присутствие пленок, “рубашек”, покрытий, агрегатных новообразований и т. п. на поверхности зерен платиноидов довольно

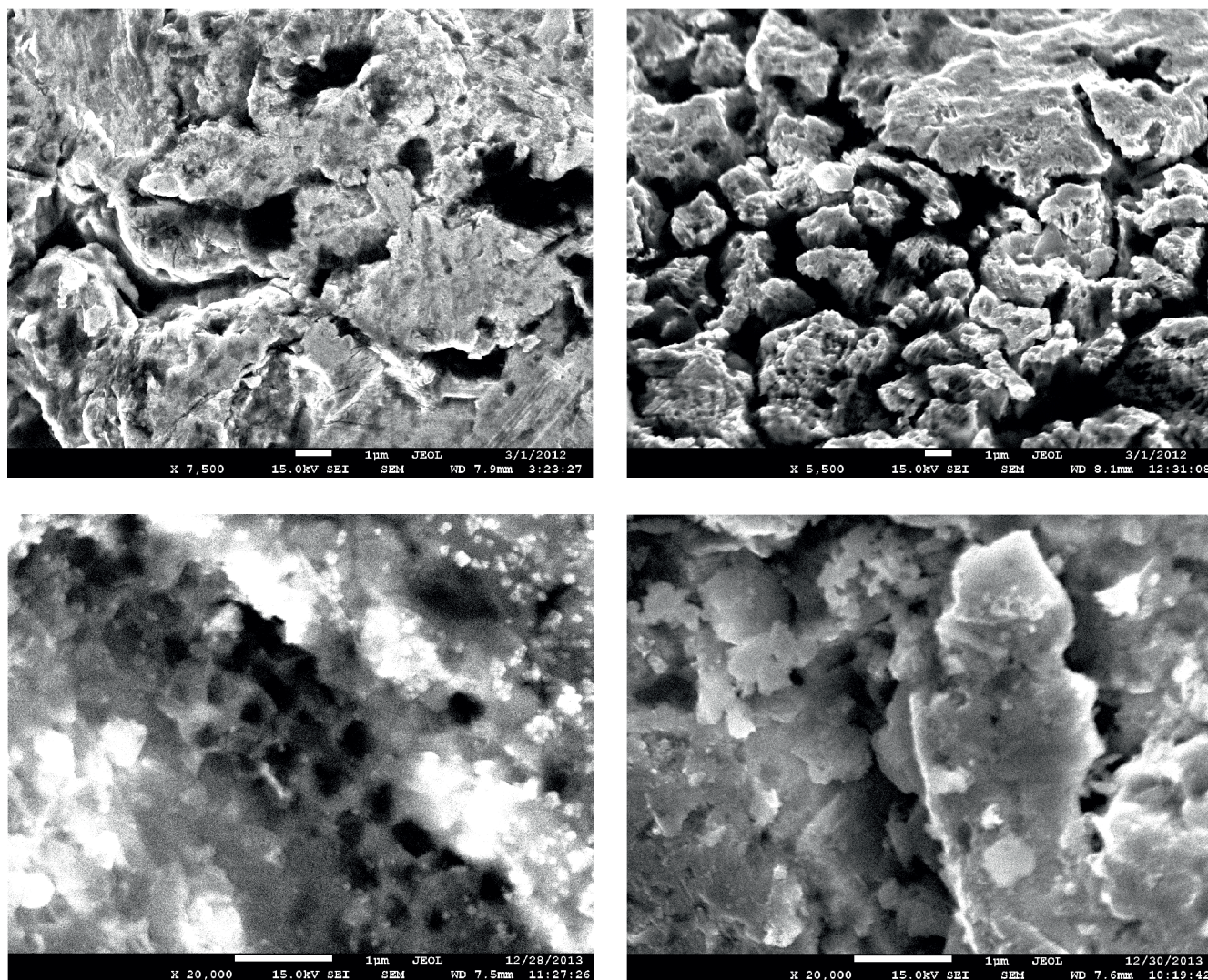


Рис. 8. Кавернозность поверхности платиноидов уральских россыпей (верхний ряд – Екатеринбургской, слева внизу – Актай-Талицкой, справа внизу – Исовской группы россыпей).

обычно. Однако на платиноидах россыпи р. Косья они развиты в ограниченных масштабах, представлены довольно рыхлыми агрегатами или даже небольшими по размерам одиночными выделениями железистых новообразований. На поверхности платиноидов Екатеринбургской россыпи пленки распространены широко, разнообразны по составу (железистые, марганцевые, глинистые, титанистые и др.).

Железистые налеты повышенной толщины придают зернам платиноидов своеобразное губчатое строение, что в литературе неоднократно упоминалось ранее как особенность приповерхностного слоя платиноида. По данным микрозондового анализа на долю гидроксидов железа в них приходится до 70–85 мас. % (табл. 1). Глинистые налеты очень широко распространены и обычно имеют гидрослюдистый состав. Налеты глинистого вещества с повышенным содержанием оксидов и гидроксидов

марганца обнаруживаются сравнительно редко, для них характерно присутствие редких земель. Повышенное содержание титана в “рубашках” железисто-глинистого состава обусловлено, вероятно, присутствием лейкоксена или диоксидов титана и отражает геохимические особенности вмещающей коры выветривания. Довольно редко в составе налетов на поверхности платиноидов отмечается высокое содержание оксида кальция, что, вероятно, связано с продуктами выветривания силикатных минералов (группы эпидота, пироксенов и др.). Наконец, в некоторых трещинах обнаружены глинистые продукты выветривания с повышенным содержанием циркония и хрома (в одном из анализов содержания составили: ZrO_2 – 9.5% и Cr_2O_3 – 20.8%), что может быть обусловлено концентрацией микрозерен устойчивых к агентам выветривания минералов – циркона и хромита.

Таблица 1. Химический состав пленок на поверхности платиноидов Екатерининской и Актай-Талицкой россыпей, мас. %

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SO ₃	—	—	—	—	—	—	2.12	—	—
SiO ₂	8.60	10.38	38.36	20.18	40.10	56.71	54.56	40.79	51.13
TiO ₂	0	0	0.79	0.94	1.59	0.61	1.90	0.46	8.22
Fe ₂ O ₃	85.23	82.73	5.58	70.61	37.84	12.01	8.67	15.08	12.30
Al ₂ O ₃	1.27	2.24	19.86	5.40	17.00	24.42	31.34	21.25	21.35
Cr ₂ O ₃	—	—	—	0.66	—	0.08	—	—	—
V ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	—	0.12	0.24
Ce ₂ O ₃	—	—	0.81	—	—	—	—	—	—
MgO	0.20	0.35	1.28	0.69	1.52	3.68	0.65	1.21	2.76
CaO	4.26	2.62	2.04	0.38	0.78	0.85	0.21	20.34	1.25
MnO	0	0.32	17.65	0.52	0	0	0	0.08	0
ZnO	—	1.00	—	—	—	—	—	—	—
CoO	—	—	0.80	—	—	—	—	—	—
Na ₂ O	—	0.20	0.09	0	0.29	0.30	0.17	0	0.41
K ₂ O	—	0.15	1.32	0.62	0.88	1.34	0.38	0.66	2.33
Cl	0.05	—	—	—	—	—	—	—	—
F	—	—	0.66	—	—	—	—	—	—
Сумма	100.01	99.99	89.24	100	100	100	100	99.99	99.99

Примечание. 1–3 – Екатерининская россыпь, 4–9 – Актай-Талицкая.

При описании шлихового металла ранее разведанных месторождений отдельными исследователями отмечалось присутствие на поверхности частиц платины тончайших пленок золотисто-желтого цвета. Их сопоставляли с новообразованным (аутигенным) золотом. Выполненное микронзондовое изучение многих подобных частиц платины из россыпи р. Косья показало, что в составе аналогичной гипергенной пленки золото отсутствует; в ней преобладают гидроксиды железа, а также соединения меди, цинка и мышьяка.

Микровключения в приповерхностном слое зерен платиноидов представлены частицами минеральных фаз, сопутствующих оруденению, минералов вмещающих пород и зернами, которые были вдавлены в платиноид в процессе его переноса в водных потоках. Микронзондовый анализ показывает, что наиболее часто вдавленными в приповерхностный слой платиноидов оказываются зерна кварца. Из минеральных фаз, сопутствующих оруденению, установлены иридоосмин и лаурит (табл. 2, анализы 1, 2). На поверхности многих зерен изоферроплатины Актай-Талицкой россыпи наблюдалось большое количество округлых микровключений родий-осмиевого иридия размером 1–2 мкм (табл. 2, анализы 3–5). На отдельных участках приповерхностного слоя они образуют достаточно плотные скопления. Присутствие иридия является характерной особенностью состава изоферроплатины данной россыпи, а формой его нахождения, вероятно, являются указанные выше микрочастицы родий-осмиевого иридия. В приповерхностном слое одного из зерен медистой тетраферроплатины россыпи р. Косья установлено присутствие микровключений сперилита.

В углублениях поверхности зерен изоферроплатины, выделенных из отвалов разработки Исовской группы россыпей, обнаружено много природно-техногенных новообразований сложного состава, содержащих в повышенных количествах ртуть, свинец, медь, железо. Среди последних установлено также присутствие самородных металлов: меди, свинца, а также капелек ртути. Кроме того, в одном из углублений находилось выделение ртутного золота неправильной формы размером около 70 мкм (табл. 2, анализы 6–9).

Микроформы поверхности как отражение внутреннего строения платиноида

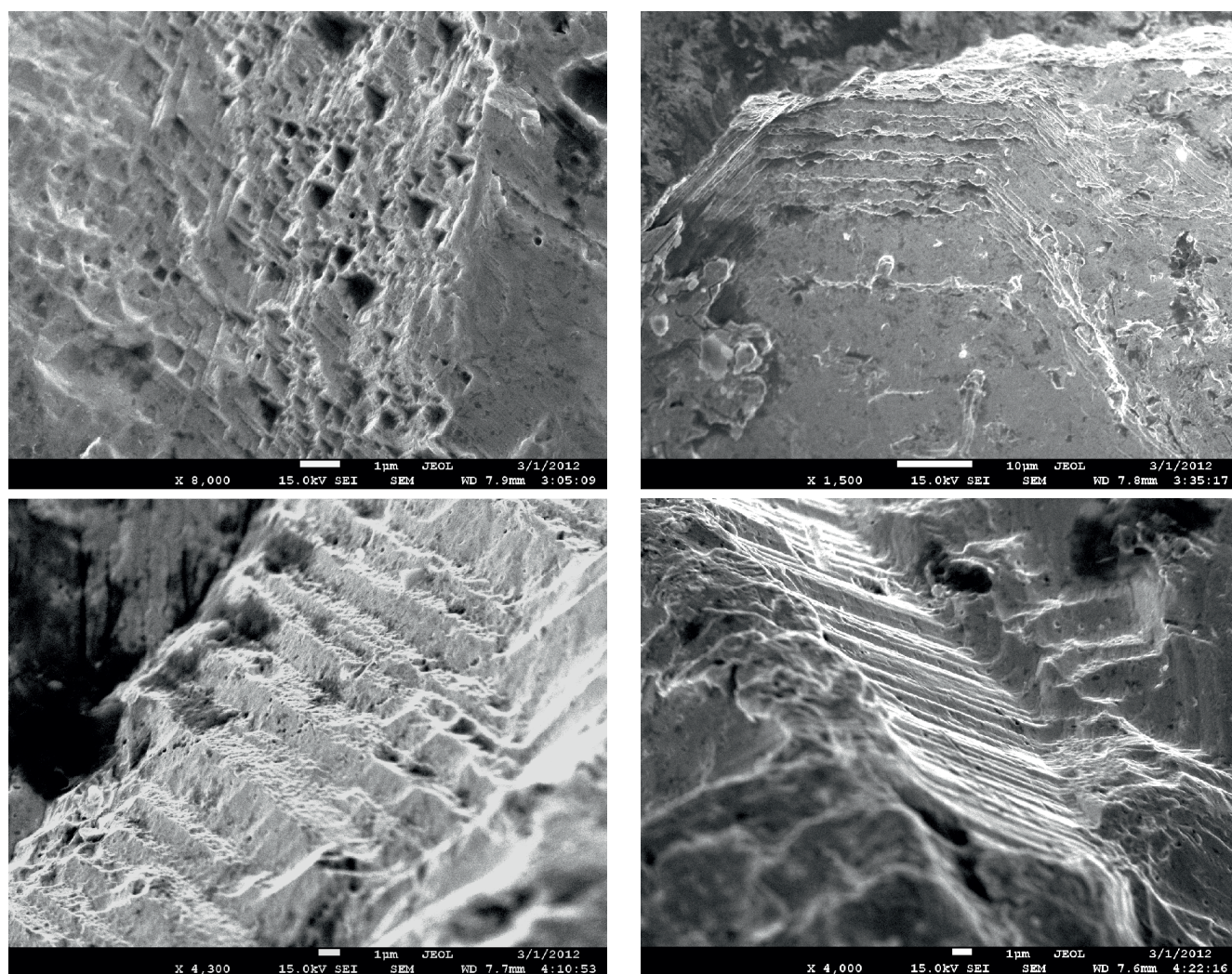
К наиболее характерным морфологическим типам поверхности платиноидов или формам микро-рельефа, которые свидетельствуют об особенностях их внутреннего строения, относятся микрослоистость, нитевидность кристаллитов, микрозернистость и микротрещиноватость.

Микрослоистость. Слоистое внутреннее строение зерен платиноидов наиболее часто выявляется при электронно-микроскопическом изучении металла р. Косья (рис. 9). Оно проявляется в той или иной степени и в разных формах в зависимости от угла наклона плоскостей напластования относительно поверхности зерен. Наиболее характерным признаком слоистого строения является ступенчатость поверхности, характеризующая “граневый рост” зерна. Высота ступенек свидетельствует о толщине наиболее выдержанных слоев или их пачек. В то же время, ступени роста осложнены многочисленными дефектами (микро- и нанопорами, ямками, вмятинами, изломами, налетами и т. д.),

Таблица 2. Химический состав микровключений в приповерхностном слое зерен платиноидов, мас. %

Элемент	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pt	4.84	0.20	1.38	0.60	0.83	0	—	—	—
Os	62.52	21.02	17.25	16.60	17.92	—	—	—	—
Ir	26.12	0.10	75.15	71.13	71.59	—	—	—	—
Ru	4.85	39.98	0	1.33	0.66	—	—	—	—
Rh	0.70	—	5.31	8.02	8.10	—	—	—	—
Pd	0	—	0.56	1.38	0	0	—	—	—
Fe	0.57	0.10	0.19	0.48	0.32	0.53	19.01	8.67	1.33
Ni	0.13	0.42	0.29	0.29	0.11	—	—	—	—
Co	0	0	0	0	0	—	—	—	—
Cu	0.28	—	0	0.12	0.36	2.18	7.11	1.66	95.71
Zn	—	—	—	—	—	13.82	2.55	—	1.63
Au	—	—	—	—	—	67.05	—	—	—
Ag	—	—	—	—	—	2.28	—	—	—
Hg	—	—	—	—	—	14.14	60.72	—	—
Pb	—	—	—	—	—	—	7.90	89.57	—
S	—	38.58	—	—	—	—	2.63	—	1.38
Сумма	100.01	100.40	100.13	99.95	99.89	100	99.92	99.90	100.05

Примечание. Актай–Талицкая россыпь: 1 – иридомин, 2 – лаурит, 3–5 – родий–осмиевый иридий; отвалы Исовской группы россыпей: 6 – ртутистое золото, 7 – амальгама, 8 – самородный свинец, 9 – самородная медь.

**Рис. 9.** Микроформы поверхности платиноидов слоистого строения; россыпь р. Косья.

обусловленными воздействием внешних факторов. На платиноидах Екатерининской россыпи из-за значительной переработки поверхности механическими агентами фрагменты слоистого строения сохраняются лишь на отдельных участках или выявляются на сколах.

Нитевидность кристаллитов. На некоторых участках поверхности, слабо затронутых процессами механической обработки, прослеживаются признаки кристаллического строения, обусловленного параллельным расположением нитевидных кристаллитов, наподобие тех, которые были выявлены учеными Воронежского госуниверситета [5] с применением атомно-силового микроскопа. В углублении деформированной поверхности одного из зерен тетраферроплатины с примесью палладия Екатерининской россыпи проглядывают фрагменты структуры с несколькими параллельными нитевидными кристаллитами толщиной около 200 нм (рис. 10). Более отчетливое наблюдение аналогичной структуры вышеупомянутыми исследователями можно объяснить не только высоким разрешением атомно-силового микроскопа, но и использованием пришлифованных образцов, в то время как нами исследовалась естественная поверхность платиноида.

Микрзернистость. Другим элементом исследования является выявление зернистого внутреннего строения платиноидов, подобного часто наблюдаемому в кристаллах золота [16]. Составляющие структуру металла зерна могут иметь различные размеры, форму и характер сочленения. В одних случаях зерна имеют размер до нескольких десятков микрон и угловатую форму; они достаточно плотно прилегают друг к другу, но все же, разделяются глубокими микротрещинами толщиной в доли

микрона. В других случаях зерна измеряются единицами микрон и отличаются овальными или правильными геометрическими формами (рис. 11).

Микротрещиноватость. Трещиноватость зерен платиноидов отражает не только особенности их внутреннего строения (первичная), но и воздействие внешних факторов (вторичная трещиноватость). Повышенная трещиноватость зерен может быть следствием высоких напряжений в структуре платиноида, наблюдавшихся в период кристаллизации по мере остывания минералообразующей среды. Микротрещины могут фиксировать зоны концентрации дефектов кристаллической решетки, отражать зональное строение металла, присутствие включений и т.д. Вторичная трещиноватость является результатом интенсивных механических воздействий в процессе переноса зерен водными потоками. Особенно активную роль в их образовании

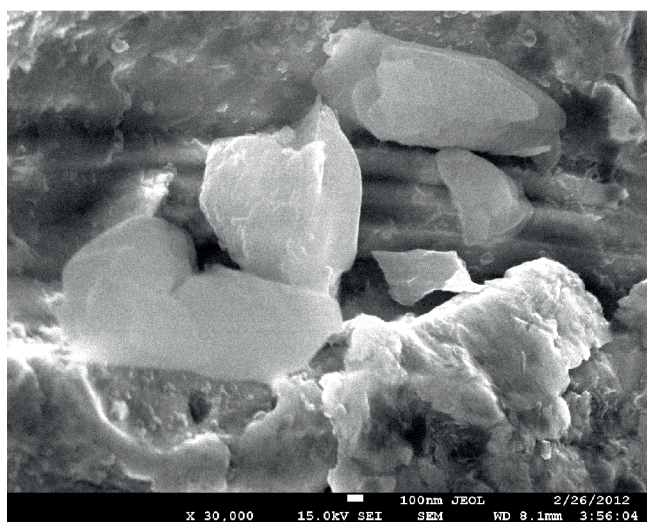


Рис. 10. Фрагменты нитевидных кристаллитов – элементов внутреннего строения зерна тетраферроплатины Екатерининской россыпи.

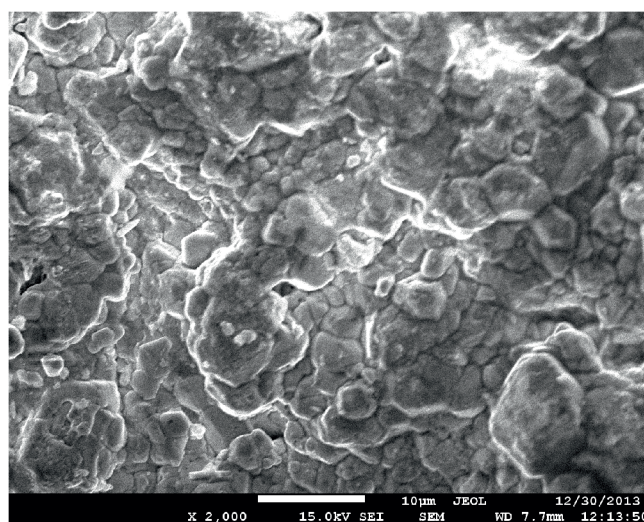
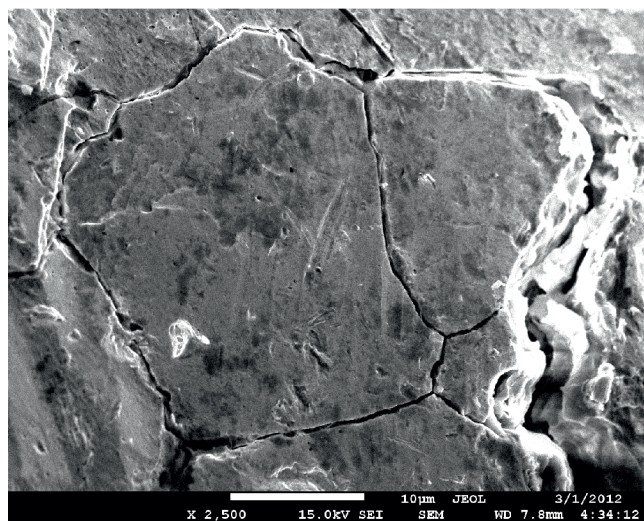


Рис. 11. Зернистое строение платины россыпи р. Косья (вверху) и р. Ис (внизу).

могут играть процессы вибрации, вызываемые постоянным перемешиванием обломочного материала донных наносов.

Как было отмечено выше, на основе данных наблюдения поверхности зерен под бинокулярным микроскопом, для платиноидов россыпей ближнего сноса трещиноватость не характерна, в то время как металл дальнего сноса отличается обилием трещин. Данное различие еще в большей степени прослеживается на микроуровне. Так, микротрещины на поверхности зерен платиноидов россыпи р. Косья практически не встречаются. Они присутствуют только на индивидах зернистого строения и фиксируют границы между отдельными зернами. Наоборот, на поверхности зерен платиноидов Екатеринбургской россыпи микротрещины являются обычными. Они зафиксированы на четверти зерен “лепешковидной” и толстотаблитчатой формы (рис. 12). Обычно микротрещины заполнены гипергенными новообразованиями. Генезис отмеченной трещиноватости коренным образом отличается от такового россыпи р. Косья, где микротрещиноватость является фрагментом внутренней структуры металла (результатом зернистого роста). Здесь же микротрещиноватость обусловлена механическими деформациями, вызванными миграцией зерен в водных потоках.

НАНОРАЗМЕРНЫЕ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТИ ПЛАТИНОИДОВ

Практически все перечисленные выше формы микрорельефа поверхности зерен шлиховых платиноидов сопровождаются соответствующими наноразмерными образованиями. В большинстве случаев последние являются составной частью общей

системы дефектов поверхности, подчиненной в количественном отношении. Образование тех и других является результатом одного и того же процесса. Однако существенно повышенное количество наноформ рельефа поверхности, наблюдаемое на отдельных участках, и тем более их заметное преобладание, безусловно, связано с некоторыми особенностями генезиса или неоднородным строением платиноида.

Нанопоры. Системы микропор, сопровождающихся определенным количеством нанопор, формируются в течение более длительного времени, в течение которого состояние внешней среды и характер действующих внешних факторов заметно меняются. Преобладание нанопор может указывать на кратковременное воздействие агрессивных агентов окружающей среды. Если оно фиксируется только на отдельных участках поверхности, то следует сделать вывод о неоднородности состава или строения приповерхностного слоя, что так или иначе связано с внутренним строением минерала. Участки поверхности с наиболее плотным расположением нанопор, кроме того, обычно соответствуют ослабленным зонам кристаллической решетки. Нанопоры на поверхности платиноидов встречаются реже, чем на поверхности частиц золота. Из этого факта можно сделать вывод о том, что платиноиды более устойчивы к воздействию агрессивных агентов внешней среды. Вероятно, для них характерна менее активная диффузия элементов-примесей из кристаллической решетки в окружающее пространство.

Наноуглубления. Наличие наноразмерных каверн, полостей и других типов углублений на поверхности платиноидов обычно связано с дефектами кристаллической решетки. При этом многие ми-

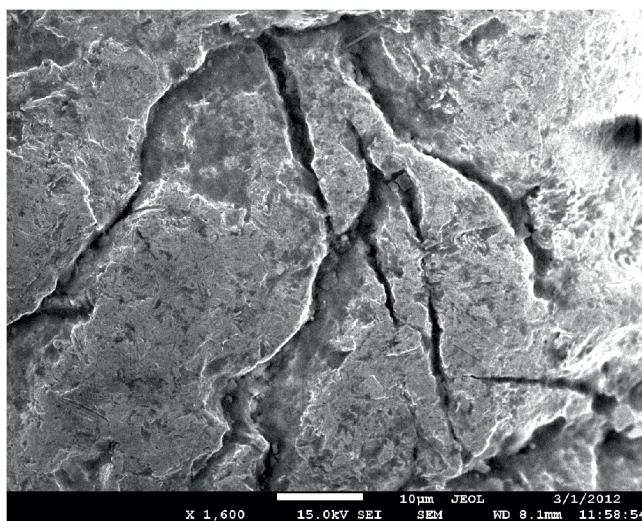
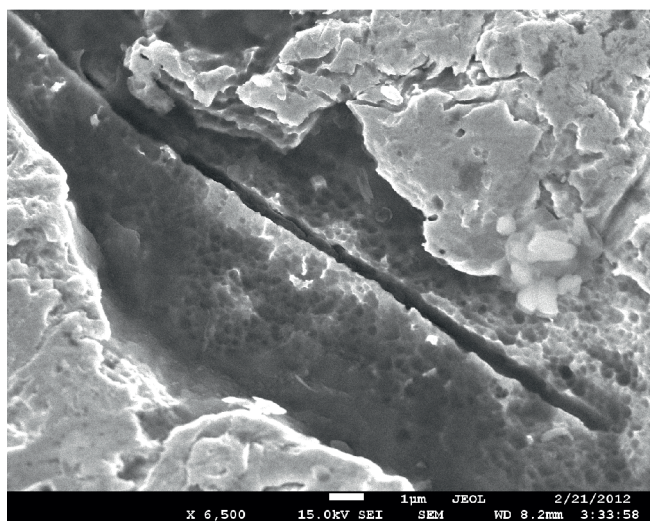


Рис. 12. Микротрещины на поверхности платиноидов Екатеринбургской россыпи.

крупные дефекты с глубиной переходят в наноразмерные и имеют, по-видимому, весьма глубокие корни (рис. 13). Нередко наноглубления являются одиночными дефектами поверхности, но на определенных участках могут группироваться с образованием более или менее сложных систем.

Наиболее обширные по занимаемой площади на поверхности, а также по объему на глубине системы сближенных микро- и наноглублений могут представлять собой наружное проявление далеко уходящего внутрь зерна своеобразного пустотного пространства. Присутствие таких пустот не может не сказываться на физических свойствах минерала (плотности, твердости, хрупкости и др.). При обнаружении таких дефектных участков поверхности необходимо принимать во внимание, что фактическое их количество, вероятно, значительно превышает реально наблюдаемое из-за перекрытия многих из них наклепами, пленками, налетами и т. д.

Нанопленки. Среди разнообразных налетов, “рубашек” и пленок на поверхности платиноидов часто присутствуют небольшие по площади, отделившиеся от основной массы слоистые образования наноразмерной толщины (рис. 14). Такие нанопленки наиболее характерны для новообразований глинистых частиц и часто представляют собой отдельные их индивиды или сращения. В то же время характерно присутствие в углублениях поверхности скоплений агрегатов, сложенных наноразмерными частицами разного состава (рис. 15). Микрозондовый анализ показывает преобладание среди них железистых, реже марганцевых, новообразований с присутствием определенного комплекса поглощенных ими металлов (табл. 1).

Аналогичными по строению являются агрегаты наночастиц золота на поверхности платиноидов, которые наиболее характерны для металла кор вы-

ветривания и россыпей ближнего сноса. В частности, они были обнаружены и детально изучены на платиноидах Курьинской россыпи Среднего Урала. Здесь на зернах изоферроплатины и тетраферроплатины обнаружены агрегатные скопления наночастиц самородного золота и амальгам. Наиболее часто встречаются амальгамы состава Au_3Hg_2 . Для них характерно агрегатное строение в виде скоплений микроглобул размером в несколько микрон, представляющих собой агломераты наночастиц амальгамы. Местами они образуют сплошные многослойные корочки с плотной упаковкой слагающих их наночастиц (рис. 16).

Наночормы, отражающие внутреннее строение платиноидов. Выше было отмечено, что микрослоистость является наиболее типичным выражением закономерного внутреннего строения платиноидов, свидетельствующим о последовательном их росте в результате разрастания плоских секторов кристаллической решетки. Однако под электронным микроскопом при более высоких увеличениях выявляется, что микрослои состоят из серии нанослоечков различной толщины, что свидетельствует о неравномерном росте кристаллов в ходе кристаллизации. Обнаруженные нами нитевидные кристаллиты размером около 200 нм (рис. 10), вероятно, состоят из плотного скопления группы нановолокон. Расположение их в углублении поверхности не позволило получить отчетливое электронное изображение при большом увеличении. Однако результаты применения с этой целью атомно-силовой микроскопии [5] свидетельствуют об участии в строении нитевидных кристаллитов нановолокон толщиной до 30 нм.

Детальное изучение трещиноватости платиноидов с постепенным увеличением разрешения микроскопа дает много полезной информации об особенностях

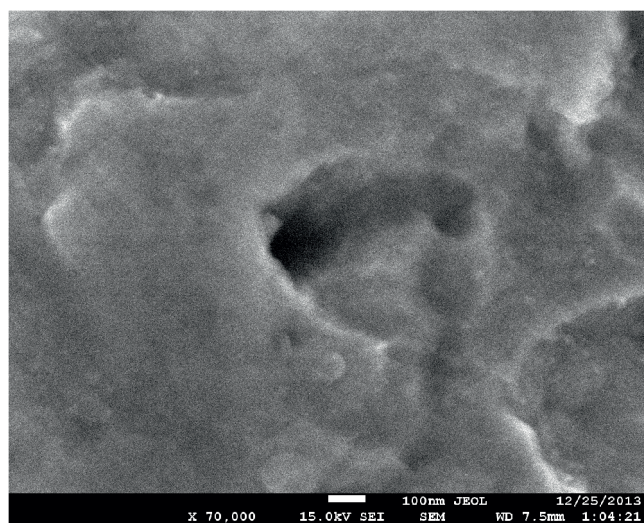
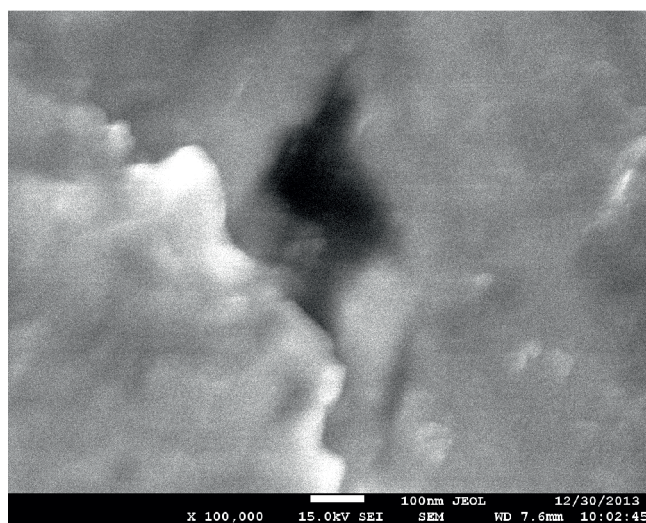


Рис. 13. Наноглубления на поверхности платиноидов Актай-Талицкой россыпи.

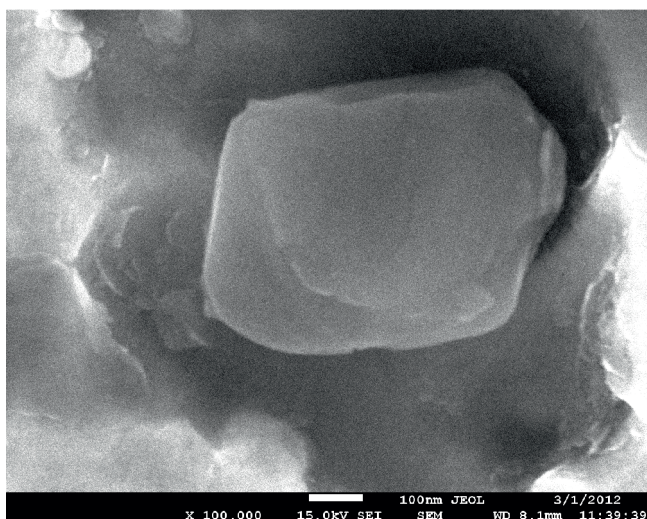
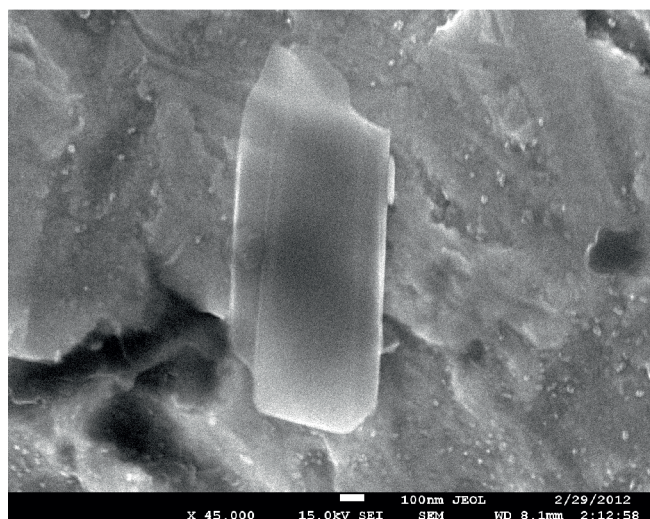


Рис. 14. Наноразмерные вторичные минералообразования слоистого строения на поверхности платиноидов Екатеринбургской россыпи.

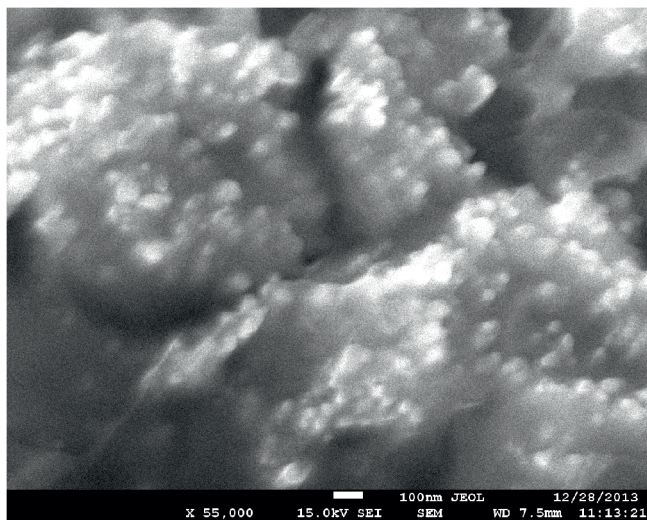
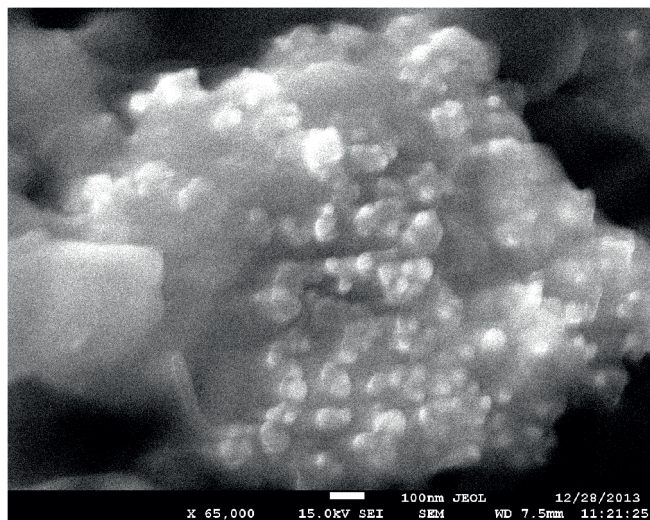
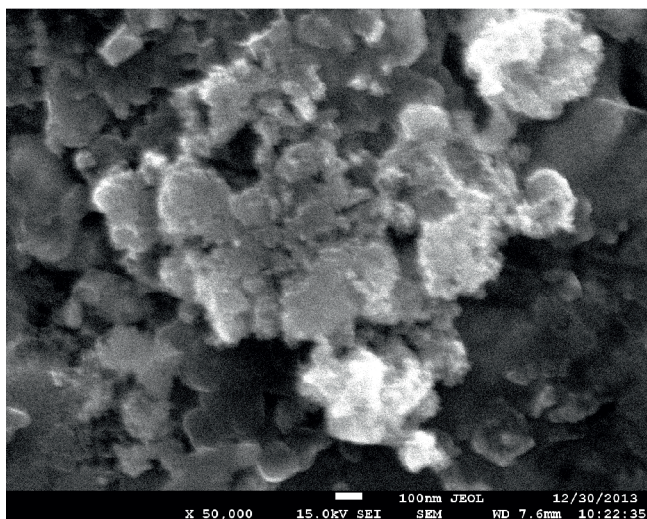
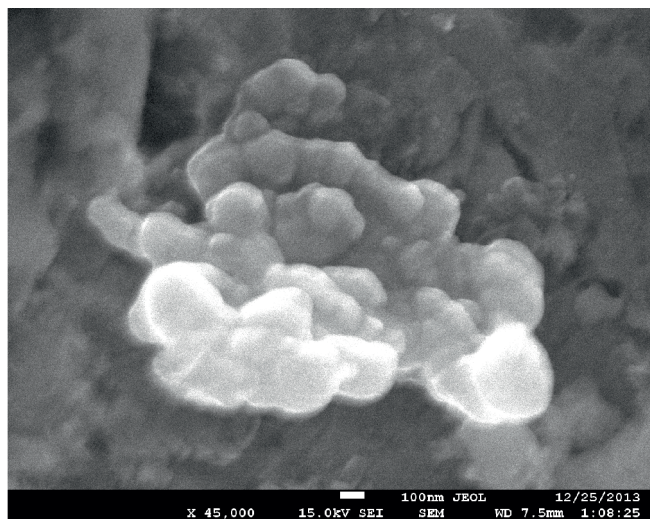


Рис. 15. Агрегаты наноразмерных частиц вторичных новообразований в углублениях поверхности платиноидов.

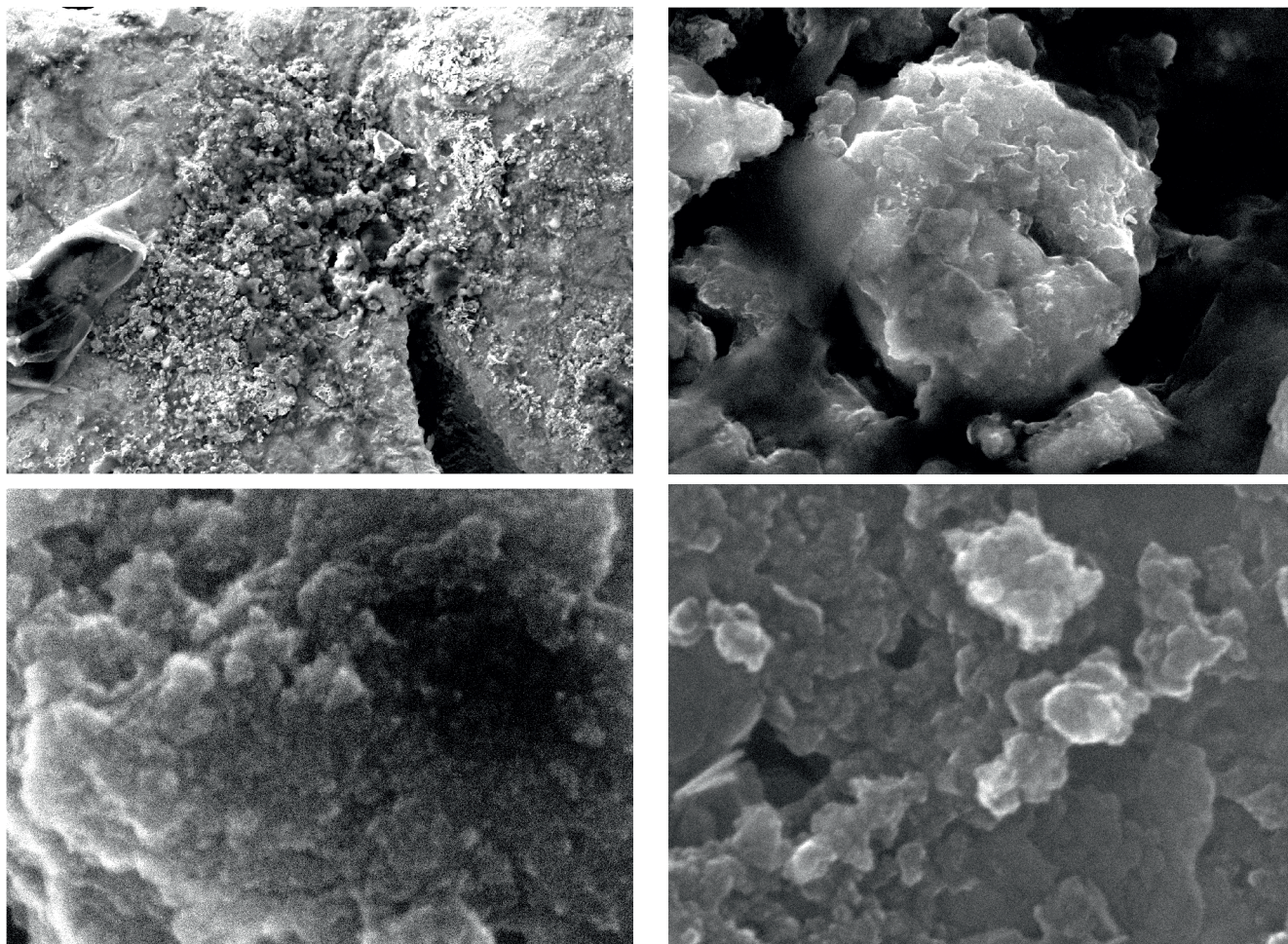


Рис. 16. Налеты амальгам золота на поверхности зерен платиноидов Курьинской россыпи.

их внутреннего строения на наноуровне. В частности, установлено, что микротрещины на отдельных участках нередко переходят в нанотрещины. Последние, кроме того, всегда представляют собой зоны выклинивания микротрещин. Однако очень часто нанотрещины имеют и самостоятельное значение. Они заметно различаются по протяженности, ширине и степени извилистости; иногда разветвляются или пересекаются другими нанотрещинами, а на отдельных участках залечиваются вторичными минеральными новообразованиями или перекрываются наклепами (рис. 17).

Нанотрещины и наноуглубления совместно с соответствующими микроразмерными формами обуславливают ту или иную степень дефектности приповерхностного слоя платиноидов и тем самым во многом определяют их абразивную прочность и миграционную способность. Сплошное сканирование поверхности платиноидов показывает, что на некоторых зернах нанотрещины более широко распространены, чем микротрещины. Таким образом, наиболее полное представление о состоянии приповерхностного слоя индивиду можно получить только с применением методов высокоразрешающей электронной микроскопии.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Приведенные выше результаты свидетельствуют о том, что детальное изучение поверхности зерен платиноидов методами электронной микроскопии, в том числе высокого разрешения, дает возможность получить дополнительную информацию о типоморфных признаках, свидетельствующих о генезисе минерала, особенностях его внутреннего строения и роста. С другой стороны, на поверхности появляются и сохраняются многие индикаторные признаки среды пребывания платиноидов в экзогенной обстановке и процессов воздействия внешних факторов.

Выявляемые на поверхности платиноидов из кор выветривания и россыпей ближнего сноса элементы внутреннего строения свидетельствуют о большом их разнообразии, что не может не повлиять на их поведение в экзогенной обстановке. Для изученных платиноидов россыпей Урала удалось выявить два характерных типа внутреннего строения минералов группы платины: зернистое и нитевидно-волокнистое. Для последнего отмечено большое разнообразие вариантов, которые выявляются только на

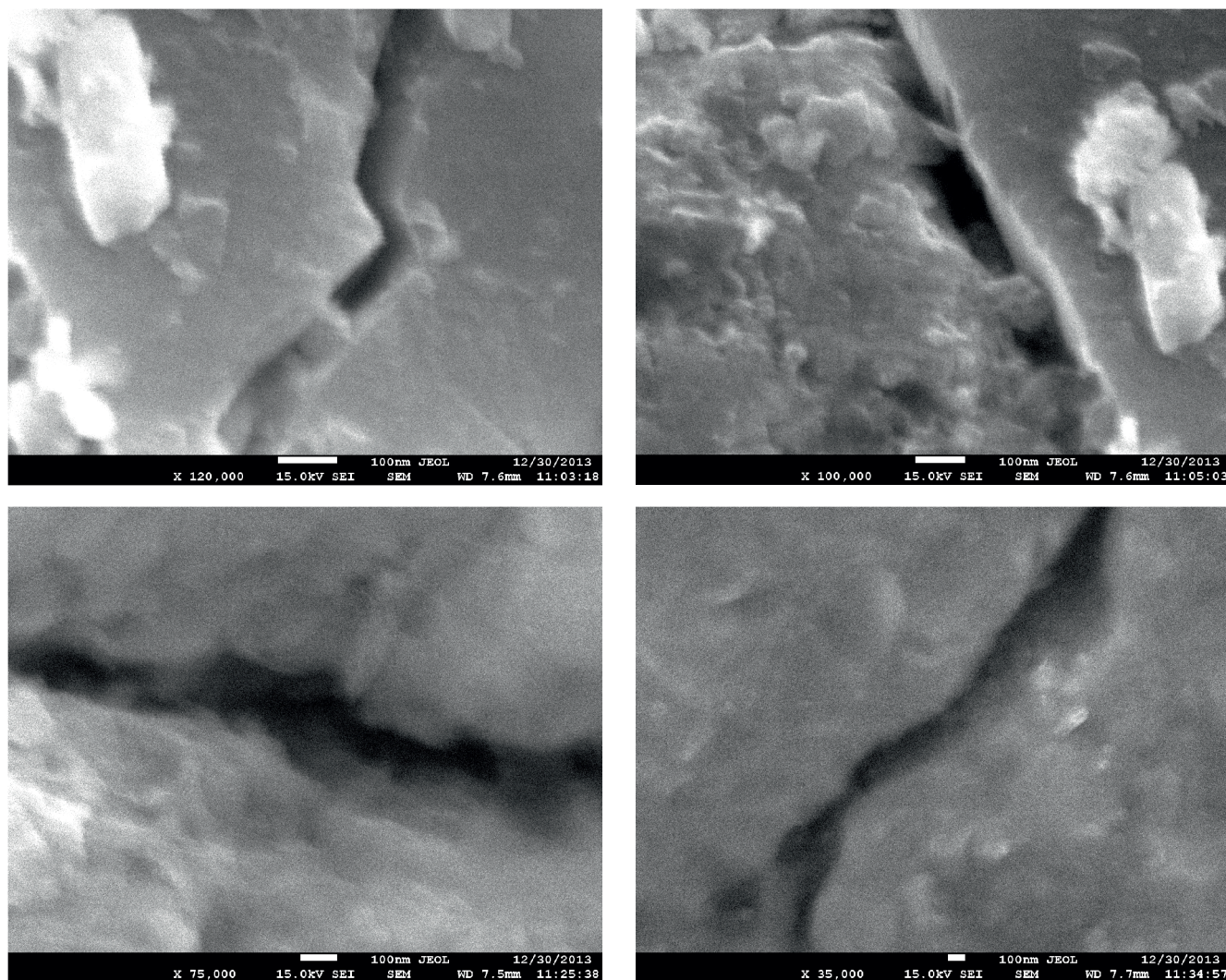


Рис. 17. Нанотрещины на поверхности платиноидов Исовских россыпей.

наноуровне с применением методов атомно-силовой микроскопии [5]. При решении возникающих в связи с этим многих вопросов актуальной проблемой является постановка работ по детальному изучению внутреннего строения платиноидов коренных месторождений различных формационных типов.

О характере пород первоисточников, питающих россыпь, могут свидетельствовать микро- и нановключения парагенетических минералов в платиноидах. С применением электронного микроскопа повышается возможность их обнаружения, а микрозондовый анализ позволяет надежно их идентифицировать. Необходимо учитывать, что на поверхности шлиховой платины признаки внутреннего строения проявляются сравнительно редко из-за переработки приповерхностного слоя механическими процессами. Кстати, наличие или отсутствие этих признаков может служить одним из косвенных критериев при разграничении платиноидов россыпей ближнего и дальнего сноса.

Трещиноватость зерен шлиховой платины, установленная при разных уровнях детальности, включая наноразмерный, является настолько характерным явлением, что заслуживает более внимательного анализа. Многие факты свидетельствуют в пользу предположения о полигенетическом происхождении трещин. В частности, некоторые из них связаны с дефектами кристаллической структуры платиноида, заложенными уже в период кристаллизации минерала. Другие образовались, вероятно, в процессе миграции зерен в водных потоках. В этой связи, присутствие большого количества микротрещин на поверхности платиноидов в россыпях дальнего сноса требует особого объяснения (рис. 3, 4, 6). Вполне возможно, что они являются результатом механического воздействия на приповерхностный слой зерен благородного металла в процессе транспортировки, но в то же время отражают наличие в его структуре ослабленных зон. Скорее всего, наблюдается разрастание нанотрещин, заложенных

в структуре платины в ходе кристаллизации. Этому способствуют многочисленные соударения зерен при переносе, выкрашивание вещества из межзернового пространства и т.д. Высокая степень микро- и нанотрещиноватости приповерхностного слоя наглядно показана также на зернах россыпного золота с применением методов электронной микроскопии высокого разрешения [16].

Сравнительные электронно-микроскопические исследования поверхности платиноидов россыпей ближнего и дальнего сноса позволяют наметить ряд более заметных и существенных различий, которые могут быть использованы как показатели удаленности россыпей от коренных источников. Наиболее общим является заключение о более высокой степени переработанности поверхности зерен платиноидов в россыпях дальнего сноса. Это проявляется, прежде всего, в приобретении округлых очертаний первично неправильными по форме или совершенными кристаллами, что может быть установлено даже под бинокулярным микроскопом. Данные электронной микроскопии позволяют восстановить детали этого процесса, длительность, интенсивность и другие особенности его проявления.

В первую очередь, заслуживает специального анализа процесс повышения степени окатанности зерен платиноидов и признаки его проявления. С.Ф. Жемчужный [6] описывал данный процесс как механическое развальцевание частиц (“холодную обработку”) при их транспортировке в донных наносах рек или переносе пролювиально-мутьевыми потоками. Под электронным микроскопом продукты такого развальцевания представляют собой рыхлый чешуйчато-слоистый наружный слой, сложенный агрегатами плоских микро- и наночастиц. Он заметно отличается от подстилающего слоя, име-

ющего ячеисто-сотовое или иное строение (рис. 6, 18). Другими характерными эффектами, сопровождающими процесс окатывания зерен платиноидов, являются округление остроугольных и крючковатых выступов, столь характерных для зерен россыпей ближнего сноса (рис. 2), сглаживание и развальцевание торцевых частей, залечивание углублений и других неровностей. В процессе окатывания зерен наблюдается побочный эффект, заключающийся в появлении повышенного количества микровключений, вдавленных в приповерхностный слой. При этом присутствие и тем более преобладание зерен кварца среди поверхностных микровключений создает своеобразную защитную оболочку, увеличивает абразивную прочность платиноидов и тем самым их миграционную способность.

Обычно степень окатанности зерен шлиховых минералов принято оценивать по балльной системе с присвоением каждому индивиду определенного балла окатанности. Данные электронной микроскопии позволяют как качественно, так и количественно оценить степень окатанности зерен платиноидов по совокупности перечисленных выше признаков. В частности, одним из них является количество остроугольных или слегка сглаженных выступов зерен. Другим оценочным показателем может служить извилистость внешнего контура зерна по сравнению с контуром наиболее близкой правильной геометрической формы (окружности, квадрата и т.д.). С учетом этих показателей можно сделать вывод о том, что степень окатанности платиноидов россыпи р. Косья заметно ниже, чем таковая платиноидов Екатерининской россыпи, а металл Актай-Талицкой россыпи обладает промежуточными значениями степени окатанности.

Характерными признаками, свидетельствующими о динамике среды транспортировки платиноидов

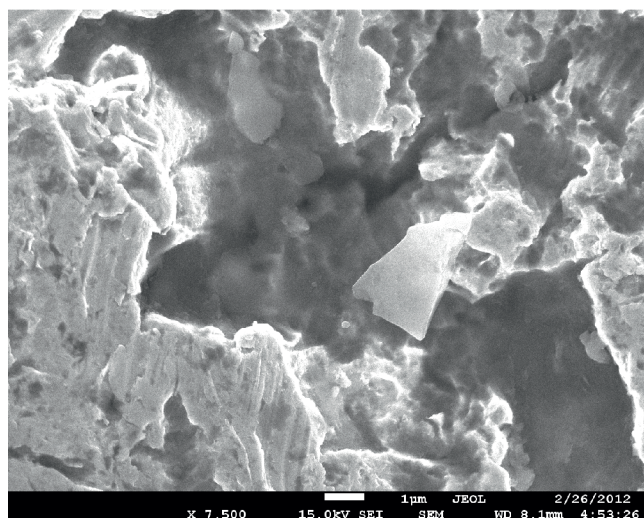
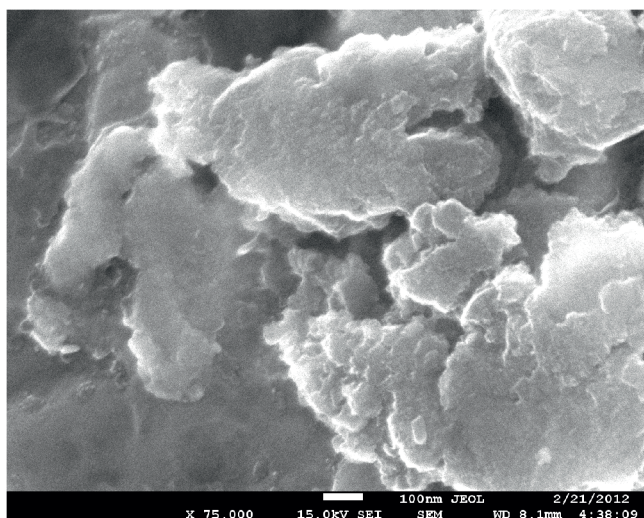


Рис. 18. Фрагменты чешуйчато-слоистого приповерхностного слоя на зернах платиноидов Екатерининской россыпи.

дов в водных потоках, являются следы истирания на поверхности (борозды, царапины, тонкие срезы и другие следы скольжения). Количество таких следов указывает на длительность процессов переноса. Наличие борозд разной ориентировки, нередко пересекающих друг друга, является дополнительным критерием более интенсивной механической обработки поверхности платиноидов.

Процессы, сопровождающие пребывание платиноидов в корях выветривания или вторичных коллекторах в захороненном состоянии, проявляются в образовании на них пористо-кавернозного приповерхностного слоя и отложении различных минеральных новообразований. Высокая степень пористости характерна для так называемой губчатой платины, генезис которой до конца не ясен. Специальным исследованием в этом направлении с привлечением методов высокоразрешающей электронной микроскопии могут дать много полезной информации.

Представляет значительный интерес изучение гипергенных налетов на поверхности платиноидов, особенно в россыпях дальнего сноса. Не вызывает сомнения тот факт, что многие из них имеют гетерогенное происхождение. В углублениях могли сохраниться продукты коры выветривания коренных пород – источников питания россыпи. Платиноиды россыпей дальнего сноса могли претерпеть неоднократный перенос и захоронение во вторичных коллекторах, где также происходили процессы вторичного минералообразования. В результате пленки, “рубашки” и другие гипергенные продукты являются “свидетелями” различных этапов истории пребывания платиноидов в экзогенных условиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Электронно-микроскопические методы изучения поверхности шлиховых зерен платиноидов дают обширную информацию об особенностях внутреннего строения, их транспортировки в водных потоках, миграционной способности, удаленности коренных источников, влиянии экзогенных факторов и т.д. Традиционные подходы к решению этих задач, ограниченные анализом системы “коренной источник – элювий – делювий – аллювий”, должны быть дополнены информацией на новом уровне исследований, включая наноразмерный.

2. Типоморфными признаками платиноидов, выявляемыми с применением электронно-микроскопических методов изучения поверхности, являются особенности их структуры. В частности, установлено присутствие платиноидов зернистого и нитевидно-волокнистого кристаллического строения. Они различаются не только по условиям кристаллизации в магматических породах, но и по химическому составу.

3. Индикаторными признаками поверхности шлиховой платины, позволяющими разграничи-

вать россыпи ближнего и дальнего сноса, являются преобладающий морфологический спектр частиц шлиховой платины, их гранулометрия, характер наблюдаемой на поверхности зерен микро- и нанослоистости и уровень ее проявления, присутствие на поверхности микро- и наноборозд, иных углублений, наличие поверхностных микро- и нанопленок, включений других минералов, уровень трещиноватости зерен и др.

4. Эволюция процессов россыпеобразования, применительно к россыпям платиноидов на отрезке мезозойско-кайнозойской истории, может быть детализирована с учетом данных, раскрывающих детали строения микро- и нанорельефа поверхности частиц. Установленные индикаторные признаки поверхности зерен платиноидов на основе электронно-микроскопических исследований могут быть использованы при интерпретации результатов минералогического изучения металла, а также принятия обоснованных решений при проведении прогнозно-поисковых и разведочных работ на платину (как рудную, так и россыпную).

Авторы выражают благодарность руководству старательских артелей “Невьянский прииск” и “Норд”, сотрудникам УГСЭ В.В. Александрову, А.В. Бондаренко и директору Естественнонаучного института ПГНИУ В.А. Наумову за предоставленную возможность исследования зерен шлиховой платины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранников А.Г., Осовецкий Б.М. Морфологические разновидности и нанорельеф поверхности самородного золота разновозрастных россыпей Урала // Литосфера, 2013. № 3. С. 89–105.
2. Вернадский В.И. Опыт описательной минералогии (с дополнениями автора). Т. 1. Самородные элементы // Избранные сочинения. Т. II. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 616 с.
3. Волченко Ю.А., Коротеев В.А. Платина в дунитовых массивах платиноносного пояса Урала: критерии коренной и россыпной платиноносности // Магматические и метаморфические образования Урала и их металлогения (памяти проф. Д.С. Штейнберга). Екатеринбург: УрО РАН, 2000. С. 25–37.
4. Глухов Ю.В., Филиппов В.Н., Макеев Б.А. и др. Первая находка платины в базальных среднеюрских осадках в районе Бездубово (Республика Коми) // Сыктывкарский минералогический сборник. 2003. № 33. С. 101–105.
5. Гречкина М.В., Богатиков Е.В., Крячко В.В. и др. АСМ-микроскопия природных наноструктур на основе металлов платиновой группы // Конденсированные среды и межфазовые границы. 2009. Т. 11, № 3. С. 208–215.
6. Жемчужный С.Ф. Исследование структуры самородной платины // Материалы для изучения естественных производительных сил России: секция платины. № 38. Петроград, 1920. 50 с.

7. *Иванов О.К.* Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала: минералогия, петрография, генезис. Екатеринбург: УрГУ, 1997. 488 с.
8. *Макеев А.Б., Брянчанинова Н.И.* Платиноиды в хромитах Полярного Урала // Алмазы и благородные металлы Тимано-Уральского региона. Сыктывкар, 2006. С. 232–236.
9. *Макеев А.Б., Крапля Е.А., Брянчанинова Н.И.* Платиноиды в аллювии и россыпях – ключ к поискам коренных месторождений платины в Республике Коми. Сыктывкар: Геопринт, 1996. 44 с.
10. *Малич К.Н., Баданина И.Ю.* Особенности классификации и распространенности минералов платиновой группы // XVIII Всероссийская науч. конф. “Уральская минералогическая школа”, посвященная благородным металлам. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 2012. С. 95–99.
11. *Мельников А.В.* Россыпная платиноносность Верхнего Приамурья // Россыпи и месторождения кор выветривания: современные проблемы исследования и освоения: мат-лы XIV междунар. совещ. по геологии россыпей и месторожд. кор выветривания. Новосибирск: Апельсин, 2010. С. 436–440.
12. *Минералогия Урала: Элементы. Карбиды. Сульфиды.* Свердловск: УрО АН СССР, 1990. 391 с.
13. *Мочалов А.Г., Зайцев В.П., Перцев А.Н., Власов Е.А.* Минералогия и генезис “шлиховой платины” россыпных месторождений южной части Корякского нагорья (Россия) // Геология рудных месторождений. 2002. Т. 44, № 3. С. 212–238.
14. *Ойдул Ч.К., Монгуш А.А., Хураган Ч.М.* Платино-металлическая минерализация Каахемского офиолитового пояса (Восточная Тува) // Россыпи и месторождения кор выветривания: современные проблемы исследования и освоения: мат-лы XIV междунар. совещ. по геологии россыпей и месторожд. кор выветривания. Новосибирск: “Апельсин”, 2010. С. 516–521.
15. *Осовецкий Б.М.* Россыпеобразующие минералы Вятско-Камской впадины. Пермь: Пермский университет. 2011. 250 с.
16. *Осовецкий Б.М.* Наноскульптура поверхности золота. Пермь: Пермский университет. 2012. 250 с.
17. Платинометаллическое оруденение в геологических комплексах Урала / К.К. Золоев, Ю.А. Волченко, В.А. Коротеев и др. Департамент природных ресурсов, АО УГЭС, ИГТ УрО РАН, УГТА, 2001. 199 с.
18. *Mudaliar G.G., Richards J.P., Eccles D.R.* Gold, Platinum and Diamond Placer Deposits in Alluvial Gravels, Whitecourt, Alberta // Alberta Geological Survey. Spec. Rep. 2007. № 89. 24 p.
19. *Rodionov D.P., Sazonova V.A., Khlebnikova Yu.V.* Studying domain structure in a Pt-Fe pseudo-single crystal using scanning electron microscopy // The Physics of Metals and Metallography. 2005. V. 100, № 3. P. 244–25.

Рецензент В.Н. Огородников

Electron microscopy methods of platinum surface investigations (on example of the Urals placers)

B. M. Osovetsky*, A. G. Barannikov**

*Perm State National Research University

**Urals State Mining University

The common characteristics of some platinum and gold-platinum placers of the Middle and Northern Urals is given. The granulometric and morphological peculiarities of platinum grains are described. Micro- and nanoforms of metal surface were investigated under electron microscope of high resolution and were subdivided into two groups: 1) indicated the peculiarities of internal structure and 2) reflected the influence of external exogenic factors. The special attention is paid to the difference of micro- and nanoforms on platinum surface for placers of far from and near source rocks. The conclusions on necessity of electron microscopy application for investigation of exogenic conditions of platinum grains displacement for appreciation of source rocks removal and other prospecting tasks are made.

Key words: platinum placers, Middle and Northern Urals, electron microscopy, surface micro- and nanoforms.