

ТАНТАЛ-НИОБИЕВАЯ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В МЕЗОЗОЙ-КАЙНОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ БАССЕЙНА ВЕРХНЕЙ КАМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАСШИРЕНИЯ И ОСВОЕНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ РЕГИОНА*



Б.М. Осовецкий,
Естественнонаучный институт
Пермского государственного
национального
исследовательского
университета

Представлены результаты изучения тантал-ниобиевой (минералы ильменорутит, колумбит, лопарит, Nb-ильменит, Nb-перовскит, танталорутит, пирохлор) и редкоземельной (Ce-монацит, флоренсит, куларит, алланит, Ce-лопарит, Ce-перовскит) минерализаций в терригенных мезозой-кайнозойских отложениях бассейна верхней Камы. Сопутствующими полезными минералами являются золото, платиноиды, алмаз, касситерит, ильменит, циркон, рутит и др. Проведены полевые исследования с отбором и обогащением шлиховых и валовых проб на винтовом сепараторе и шлюзе. В лабораторных условиях применены эффективные экспресс-методы обработки концентратов и выделения россыпеобразующих минералов. Использованы методы электронной микроскопии, минералогический, микрозондовый, рентгенофлуоресцентный, дифрактометрический и термический анализы. Перспективы освоения минерально-сырьевой базы региона связаны с возможностью обнаружения комплексных россыпей и попутного извлечения ценных минералов при разработке месторождений песчано-гравийных строительных материалов.

Ключевые слова: минералы ниобия и редких земель, золото, платиноиды, алмаз, верхняя Кама, методы исследования, комплексные россыпи, песчано-гравийные месторождения.

ВВЕДЕНИЕ

Территория бассейна верхнего течения р. Камы в тектоническом отношении находится на восточной окраине Восточно-Ев-

ропейской платформы. Известно, что окраинные части платформ отличаются особым геотектоническим режимом, характе-

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 11-05-96002-р_урал_a).

ризующимся различной подвижностью блоков кристаллического фундамента, активной разломной тектоникой, своеобразием строения кристаллического фундамента, влиянием мантийных процессов на осадочную оболочку и т.д. Эти особенности проявляются в формировании здесь необычных типов рудопроявлений [1].

Присущие данной территории специфические геотектонические процессы проявляются на фоне сложного геологического развития региона с неоднократной инверсией тектонических движений земной коры. В палеозое она являлась областью умеренного опускания и входила в состав Верхнекамской впадины. В начале мезозойской эры в северной части Верхнекамской впадины начинается формирование наложенной Вятско-Камской впадины в результате более интенсивного опускания земной коры. Однако в период со среднетриасовой по раннеюрскую эпохи эта территория вновь активно поднималась, что привело к отсутствию отложений соответствующего возраста на территории впадины.

Наиболее важным событием этого периода являлось образование раннемезозойской коры выветривания, развитой на терригенно-карбонатных породах верхней перми и нижнего триаса. К сожалению, до сих пор она не закартирована на данной площади, поскольку принималась за озерно-болотные отложения и целиком относилась к «рудной» пачке средней юры. Данная кора имела широкое распространение и перекрывала также породы разрушенного к тому времени уральского горного сооружения. В пределах Уральской складчатой системы она в дальнейшем была размыта в результате неотектонического подъема территории. Однако в пределах опускающихся блоков земной коры она сохранялась и заполняла днища приуроченных к ним депрессий. Именно с образованиями раннемезозойской коры выветривания или продуктами ее переотложения связана основная часть уральских россыпей золота, платиноидов и алмазов.

В среднеюрскую эпоху возобновилось опускание территории Вятско-Камской впадины. Это создало благоприятные предпосылки для сохранения здесь раннемезозойской коры выветривания. В течение среднеюрской эпохи на территории бассейна верхней Камы сформировался замкнутый бассейн континентального осадконакопления. Благодаря неоднократно омоложению рельефа соседних складчатых областей (Урала и Тимана) и прерывистому опусканию территории впадины время от времени активизировалась эрозионная деятельность. Речные потоки стекали сюда с соседних горных сооружений (с востока и севера), а также с возвышенностей Вятской зоны валов (с запада) и Северо-Татарского свода (с юга). На первом этапе среднеюрские палеопотоки размывали раннемезозойскую кору выветривания, в результате чего сформировался базальный горизонт, сложенный продуктами ее переотложения. Он представлен толщей сильно ожелезненного валунно-галечного с глинистым заполнителем обломочного материала.

Переотложение раннемезозойской коры выветривания и сносы обломочного материала с Урала и Тимана имели определяющее значение для формирования минерализации мезозой-кайнозойских пород бассейна верхней Камы. Известно, что Урал является одной из крупнейших в мире провинций благородных металлов, а также характеризуется наличием тантал-ниобиевой и редкоземельной минерализаций. Коренные месторождения золота известны и на Тимане. В ходе раннемезозойского горообразования на Урале и Тимане происходила мобилизация россыпеобразующих минералов из пород первоисточников и промежуточных коллекторов. Активный перенос этих минералов в речных системах происходил и в раннетриасовое время, но значительно активизировался в среднеюрскую эпоху.

В позднеюрскую и раннемеловую эпохи опускание территории Вятско-Камской впадины значительно усилилось, и континентальное осадконакопление сме-

нилось морской трансгрессией. Затем вновь длительное время господствовал континентальный режим при отсутствии осадконакопления.

На неотектоническом этапе развития территории ярко проявился дифференцированный характер движений земной коры в различных блоках. В частности, энергичное поднятие в четвертичное время испытала территория бассейна верхнего течения р. Косы, в результате чего сформировались Верхнекамское неотектоническое поднятие и соответствующая геоморфологическая структура – Верхнекамская возвышенность. Наоборот, на территории бассейна р. Весляны происходило неотектоническое опускание (в современном рельефе – Веслянская низменность).

Активный неотектонический подъем территории бассейна верхнего течения р. Косы сыграл большую роль в создании условий для концентрации ценных минералов в современной аллювии. Этому способствовали следующие факторы: перемыв раннемезозойской коры выветривания, при формировании которой происходила концентрация минералов, устойчивых к агентам химического выветривания; переотложение в современной аллювии рек полезных минералов, находившихся в базальном грубообломочном горизонте средней юры и других промежуточных коллекторах (галечники верхней перми и нижнего триаса). Современный подъем земной коры на территории Верхнекамского неотектонического поднятия сопровождался активным врезанием рек в подстилающие породы, увеличением скорости водного потока и активизацией процессов механической концентрации тяжелых минералов [2].

Минерально-сырьевой потенциал территории бассейна верхней Камы активно эксплуатировался на протяжении многих лет. Сидеритовые железные руды базальных горизонтов средней юры использовались как сырье для металлургии. Фосфориты нижнего мела применялись в качестве минеральных удобрений. Район богат строительными материалами (гравий

и песок), которые вскрыты многочисленными карьерами.

Наличие повышенных содержаний золота в мезозой-кайнозойских отложениях бассейнов верхних течений Камы и Вятки было установлено еще в первой четверти XIX века. Добыча металла в ограниченных объемах проводилась старательскими артелями. В начале следующего века были обнаружены также платиноиды.

В течение XX века неоднократно проводились поисковые работы на россыпное золото. Однако они не привели к открытию месторождений. Основными причинами являются невысокие концентрации золота, преобладание весьма мелких, сильно уплощенных частиц металла, плохо улавливаемых гравитационными методами, и присутствие в опробуемых толщах маломощных золотоносных прослоев, рассредоточенных как в плане, так и в разрезе. Были допущены существенные ошибки в выборе способов опробования. Так, большой упор был сделан на бурении с опробованием керна интервалами по 0,5–1 м. Однако попасть скважиной в золотоносный прослой довольно трудно. Даже если это происходило, то в изучаемой пробе наблюдалось сильное разубоживание концентраций золота, поскольку мощность обогащенного золотом прослоя обычно не превышала 10 см.

Проведенные сотрудниками Пермского университета с 1999 г. планомерные исследования минерально-сырьевого потенциала бассейна верхней Камы привели к следующим результатам. К 2003 г. было оконтурено несколько полигонов в долинах верхних течений малых рек со средним содержанием золота в русловом аллювии до 100 мг/м³ и более. Попутно были оценены содержания платиноидов [3].

В дальнейшем были установлены новые формационные типы золоторудной минерализации (ртутистое золото и амальгамы). Обнаружены интерметаллиды золота с оловом и медью, электрум, новые минеральные виды платиноидов. Выявлены объекты, образованные с участием наночастиц золота.

В 2006 г. на территории Вятско-Камской впадины в результате совместных работ сотрудников ЗАО «Пермгеологодобыча» и Пермского университета были обнаружены первые алмазы. Позднее нами было найдено еще несколько мелких алмазов [4, 5].

В последние годы при детальном изучении ранее полученных шлихов и концентратов нами были обнаружены многие

редкоземельные и тантал-ниобиевые минералы, описанию которых посвящена первая часть данной статьи.

Таким образом, представление о минерально-сырьевой базе территории бассейна верхней Камы за последнее десятилетие кардинально изменилось, что позволяет вновь поставить вопрос о благоприятных перспективах ее освоения.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевая стадия. Во время летних полевых экспедиций в период с 1999 по 2012 г. сотрудниками Пермского университета на территории бассейна верхнего течения р. Камы был выполнен большой объем работ по опробованию и обогащению мезозой-кайнозойских отложений. Наиболее массовым было шливовое опробование современного аллювия с отбором и отмывкой в лотке или на винтовом шлюзе проб объемом до 20 л. По керну скважин была изучена золотоносность верхнепермских, нижнетриасовых и юрских отложений. Достаточно широко применялось бороздовое опробование (пробы от 50 до 500 л) с обогащением материала на винтовом сепараторе и получением концентрата массой в несколько килограммов. При изучении алмазности территории обогащались пробы объемом 1–2 м³, и масса концентратов возросла до 20–30 кг. Кроме того, отбирались точечные пробы массой до 1 кг для непосредственной обработки в лаборатории с целью определения гранулометрического и минерального состава отложений. Общее количество отобранных проб составляет около одной тысячи.

При выполнении гранта РФФИ (2011–2013 гг.) нами впервые отобраны и обогащены малые технологические пробы (50–100 л) с целью определения концентраций всех ценных минералов (кроме алмазов) и оценки эффективности гравитационных методов обогащения россыпных отложений. Пробы отбирались из русловых грубообломочных отложений

верхних течений рек Камы, Кодзи, Лолога, Янчера, Чуса, Юма, Косы, Кужвы, Дозовки и карьеров, вскрывших базальные галечники средней юры в бассейнах тех же рек.

Лабораторная стадия. На начальном этапе лабораторной стадии проводились разнообразные операции пробоподготовки для выполнения гранулометрических, минералогических, электронно-микроскопических, термических, дифрактометрических и прецизионных аналитических исследований. Шлихи и концентраты рассевались на классы, которые разделялись в бромформе с выделением тяжелой фракции. Тяжелые минералы фракционировались с получением магнитной, сильно- и слабоэлектромагнитной и неэлектромагнитной подфракций. С целью выявления алмазов выполнялась операция термохимического разложения неэлектромагнитной подфракции в щелочи. В полученном ультраконцентрате сохранялись также золото, платиноиды и многие другие ценные минералы. Последние из малообъемных проб выделялись экспресс-методом (способом домывки тяжелой фракции в чашке с бромформом) с изучением небольшого по массе ультраконцентрата. В нем удалось также сконцентрировать многие тантал-ниобиевые и редкоземельные минералы, что существенно облегчило их отбор и последующую диагностику.

Описание морфологических особенностей ценных минералов проведено с применением методов электронной микро-

скопии на сканирующих электронных микроскопах JSM 6390LV с приставками для микрозондового анализа и JSM 7500F фирмы «Jeol». В частности, применение методов высокоразрешающей электронной микроскопии позволило установить присутствие в мезозой-кайнозойских отложениях бассейна верхней Камы нанозолота в различных морфологических проявлениях.

Минеральный состав тяжелой фракции определялся под бинокулярным микроскопом с диагностикой полезных минералов микрозондовым методом. Этим же методом определен химический состав всех ценных минералов. Всего автором выполнено около одной тысячи микрозондовых анализов.

Рентгенофлуоресцентный анализ применялся для определения общего химического состава полученных концентратов и фракций. Этот вид анализа позволял с

высокой точностью установить суммарное содержание тантала, ниобия и редких земель, что дало возможность контролировать результаты минералогического анализа. Кроме того, минеральный состав различных подфракций (электромагнитных и неэлектромагнитной) устанавливался методом порошковой дифрактометрии с целью контрольного определения содержаний некоторых ценных минералов (например, монацита, ильменорутила, касситерита). Термический анализ применен для изучения состава глинистых, железистых и глиноземистых компонентов. В частности, с использованием этого анализа удалось установить присутствие бокситов в составе глинистых базальных отложений средней юры, что доказывает их образование в результате перемиыва продуктов раннемезозойской коры выветривания.

ТАНТАЛ-НИОБИЕВАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ

Общее содержание *ниобия* в концентратах, полученных при обогащении мезозой-кайнозойских отложений ряда рек бассейна верхней Камы, установлено рентгенофлуоресцентным анализом в количестве 0,005–0,009 мас.%. В пересчете на исходные отложения содержание Nb_2O_5 составляет 150–300 мг/м³ (табл. 1).

Важнейшими минералами-носителями ниобия и тантала в отложениях юго-восточной части Вятско-Камской впадины являются колумбит-танталит, ильменорутил и ниобиевый ильменит.

Наиболее высокие содержания ниобия и тантала отмечены в *колумбит-танталите* (Nb_2O_5 и Ta_2O_5 в сумме от 63 до 75 %) (табл. 2). Данный минерал встречается в современном аллювии в количестве до 10 г/м³. Именно в этом минерале сконцентрирована основная доля тантала (среднее содержание Ta_2O_5 в нем составляет 13,75 мас.%).

Следующим по значению минералом-носителем ниобия является *ильменорутил*. Его концентрация в породе оценива-

ется величиной порядка 0,5–1 г/м³. Содержание Nb_2O_5 в минерале в среднем составляет около 10 %, Ta_2O_5 – около 0,5 %.

В качестве минерала-носителя ниобия *ниобиевый ильменит* не уступает выше-названным минералам, хотя содержание Nb_2O_5 в нем не превышает 2,5 %. Это объясняется, с одной стороны, повышенным содержанием ильменита в составе аллювия (до 1500 г/м³), с другой – ниобиевая разность ильменита достаточно широко распространена в районе. По данным массового микрозондового анализа нескольких сотен зерен ильменита, доля ниобиевой разности составляет до 3 % общего их количества. Формой нахождения ниобия в ильмените являются игольчатые микро- и нановключения колумбита-танталита длиной в десятки микрон и до 0,1 мкм и менее в поперечнике. Они были обнаружены под электронным микроскопом и подтверждены микрозондовым анализом. Для этих включений характерно также присутствие тантала, хотя и в небольших количествах.

Таблица 1

Химический состав концентратов, мас.%

| Компо- нент | Современный аллювий, галечник | | | | | Юрские отложения | | |
|--------------------------------|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|------------------|----------|--------|
| | Янчер | Лолог | Кужва | Коса | Кодзь | песок | галечник | |
| | | | | | | Черная | Кодзь | Кужва |
| SiO ₂ | 25,63 | 34,02 | 29,05 | 28,43 | 33,80 | 19,13 | 25,01 | 25,11 |
| TiO ₂ | 12,633 | 6,479 | 9,815 | 10,186 | 7,568 | 27,403 | 17,169 | 18,250 |
| Al ₂ O ₃ | 14,77 | 23,02 | 19,35 | 18,90 | 23,11 | 12,93 | 23,57 | 19,36 |
| FeO* | 21,08 | 18,66 | 19,92 | 21,62 | 18,09 | 25,40 | 21,12 | 21,98 |
| MnO | 1,524 | 1,812 | 1,904 | 1,450 | 1,434 | 1,742 | 1,390 | 1,424 |
| CaO | 3,57 | 4,65 | 3,35 | 3,83 | 5,28 | 1,40 | 1,01 | 5,97 |
| MgO | 2,10 | 2,33 | 2,30 | 1,81 | 1,86 | 1,60 | 1,43 | 1,13 |
| Na ₂ O | 0,267 | 0,297 | 0,263 | 0,281 | 0,330 | 0,235 | 0,254 | 0,242 |
| K ₂ O | 0,052 | 0,064 | 0,054 | 0,086 | 0,067 | 0,055 | 0,065 | 0,069 |
| P ₂ O ₅ | 0,090 | 0,043 | 0,062 | 0,085 | 0,057 | 0,121 | 0,082 | 0,120 |
| S | 0,038 | 0,079 | 0,016 | 0,016 | 0,017 | 0,012 | 0,011 | 0,010 |
| Ba | 0,0477 | 0 | 0,0005 | 0,0005 | 0 | – | – | – |
| Cr | 0,7793 | 1,8909 | 1,3937 | 1,3975 | 1,7591 | – | – | – |
| Cu | 0,0030 | 0,0016 | 0,0015 | 0,0014 | 0,0007 | – | – | – |
| Zn | 0,0493 | 0,0475 | 0,0472 | 0,0455 | 0,0449 | 0,0457 | 0,0598 | 0,0346 |
| Pb | 0,0009 | 0,0010 | 0,0010 | 0,0010 | 0,0011 | 0,0008 | 0,0010 | 0,0009 |
| Ni | 0,0091 | 0,0074 | 0,0082 | 0,0092 | 0,0074 | 0,0087 | 0,0081 | 0,0073 |
| Sr | 0,0128 | 0,0181 | 0,0105 | 0,0169 | 0,0268 | 0,0043 | 0,0042 | 0,0303 |
| V | 0,0477 | 0,0347 | 0,0382 | 0,0403 | 0,0359 | 0,0343 | 0,0293 | 0,0322 |
| Zr | 0,6907 | 0,7207 | 0,9688 | 0,8484 | 0,7608 | 0,4938 | 0,6073 | 0,4785 |
| La | 0,0174 | 0,0052 | 0,0079 | 0,0109 | 0,0096 | 0,0177 | 0,0195 | 0,0388 |
| Nb | 0,0071 | 0,0046 | 0,0056 | 0,0057 | 0,0053 | 0,0088 | 0,0078 | 0,0061 |
| Сумма | 83,40 | 94,19 | 88,60 | 89,10 | 94,28 | 86,20 | 90,70 | 94,05 |

Примечание: * суммарное содержание оксидов железа; – элемент не определялся (здесь и далее); аналитик К.П. Казымов.

Таблица 2

Химический состав минералов-носителей ниобия и тантала, мас.%

| Оксид | Ниобиевый ильменит | | | Ильменорутил | | Колумбит | | Пирохлор |
|--------------------------------|--------------------|-------|-------|--------------|-------|----------|-------|----------|
| | Чус | Кужва | Кодзь | Лолог | Коса | Чус | Янчер | Кодзь |
| UO ₃ | – | – | – | – | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Nb ₂ O ₅ | 1,87 | 1,75 | 1,28 | 3,63 | 22,66 | 67,52 | 48,99 | 76,46 |
| Ta ₂ O ₅ | 0 | 0,37 | 0 | 0 | 5,24 | 6,08 | 26,97 | 0 |
| ThO ₂ | – | – | – | – | 0,18 | 0 | 0 | 0,23 |
| SiO ₂ | 2,02 | – | 1,49 | 1,67 | 5,38 | – | – | 1,29 |
| TiO ₂ | 53,51 | 53,46 | 48,79 | 84,70 | 49,54 | 3,53 | 1,51 | 1,54 |
| Al ₂ O ₃ | 1,69 | 0,61 | 3,93 | 1,41 | 2,91 | 0,81 | 0,52 | 1,22 |
| V ₂ O ₃ | – | – | – | 1,16 | – | 0,13 | – | – |
| Sc ₂ O ₃ | – | – | – | – | – | 0,37 | – | – |
| Y ₂ O ₃ | – | – | – | – | – | – | 0,89 | 1,89 |
| TR ₂ O ₃ | – | – | – | – | – | – | – | 1,78 |
| FeO* | 36,55 | 39,77 | 39,97 | 4,54 | 13,79 | 14,17 | 16,83 | 0,41 |
| MnO | 3,46 | 2,80 | 2,91 | 0,10 | 0 | 4,39 | 3,86 | 0 |
| CaO | – | – | – | 0,17 | – | – | – | 14,99 |
| MgO | 0,38 | 0,39 | 0,23 | – | 0,22 | 0,39 | – | – |
| CoO | – | 0,14 | 0,25 | – | – | – | – | – |
| ZnO | – | – | 0,62 | 0,55 | – | – | – | – |
| Na ₂ O | – | – | – | – | – | – | – | 0,20 |
| Сумма | 99,48 | 99,29 | 99,47 | 97,93 | 99,92 | 97,39 | 99,57 | 100,01 |

Кроме того, в редких зернах в отложениях бассейна верхней Камы присутствуют *танталорутил*, *пирохлор*, *плюмбониобит*.

По ряду признаков предполагаемым первоисточником питания обломочных зерен минералов тантала и ниобия в отложениях юго-восточных районов Вятско-Камской впадины являются породы Вишневогорского комплекса Южного Урала. В качестве доказательства можно указать на совпадение минерального состава. Характерный для данного комплекса пирохлор обладает относительно низкой абразивной прочностью и устойчивостью к агентам химического выветривания, поэтому на территории Вятско-Камской впадины он не сохранился. О поступлении тантал-ниобиевых минералов на территорию Вятско-Камской впадины именно с юго-востока свидетельствуют также данные об уменьшении крупности и содержания их зерен в северных и северо-западных районах.

Для северных районов Вятско-Камской впадины (бассейн р. Весляны) характерны *ниобиевый лопарит* и *ниобиевый перовскит*. Лопарит постоянно встречается в современном аллювии в количестве до нескольких сотен зерен размером 0,25–0,1 мм на шлиховую пробу. Характерны искаженные двойники прораствания. Кристаллические индивиды обычно покрыты глинистыми и железистыми налетами. Под электронным микроскопом наблюдается ячеисто-сотовое строение поверхностного слоя минерала, обусловленное влиянием агентов химического выветривания (рис. 1).

В лопарите данного района содержание Nb_2O_5 в среднем составляет около 8 мас.%, а в разностях с максимальной долей луэшитового ($NaNbO_3$) минала – до 15 мас.% и более.

Перовскит более распространен, чем лопарит. Концентрация его зерен в среднеюрских базальных галечниках достигает 20–30 г/м³. Размер его зерен заметно больше, чем лопарита: преобладают час-

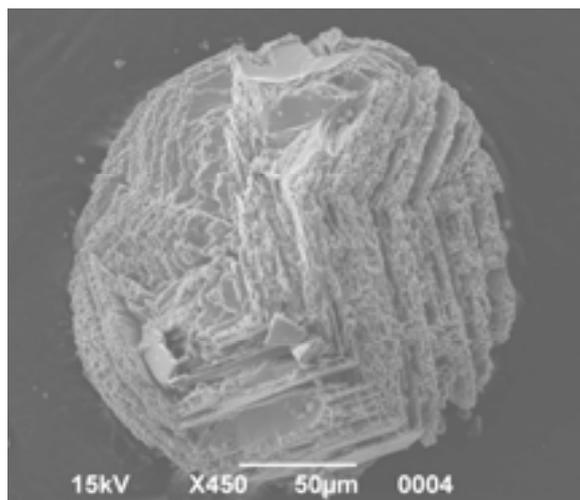


Рис. 1. Двойник кристаллов лопарита из аллювия р. Черной

тицы размером от 1 до 0,25 мм, но нередко присутствуют и более крупные.

Доля разностей перовскита с повышенным содержанием ниобия и тантала (суммарное содержание Nb_2O_5 и Ta_2O_5 более 2 мас.%) составляет около 3 % от общего числа его зерен (табл. 3).

Первоисточниками данных минералов являются, вероятно, щелочные породы и карбонатиты Карелии и Кольского полуострова. Их перенос происходил древними водными потоками (как речными, так и морскими) в течение длительной истории размыва пород Балтийского щита. В четвертичное время активным агентом переноса являлись ледники. Возможно, перовскит частично поступал из еще не обнаруженных карбонатитов и кимберлитов раннемезозойского возраста, расположенных, предположительно, в северных районах Вятско-Камской впадины или на прилегающих территориях. Минералами-индикаторами карбонатитов в мезозой-кайнозойских отложениях бассейна верхнего течения р. Камы, помимо перовскита, являются кальцитрит, бадделлит, щелочные амфиболы, монацит, флоренсит, циркон, сфен, апатит, а кимберлитов – пироп, хромдиопсид, пикроильменит, высокохромистый хромшпинелид, оливин, возможно муассанит.

Таблица 3

Химический состав разностей лопарита и перовскита бассейна р. Везьяны с повышенным содержанием тантала и ниобия, мас.%

| Оксид | Лопарит | | | | Перовскит | | |
|--------------------------------|---------|-------|--------|-------|-----------|--------|-------|
| | | | | | | | |
| UO ₃ | 0,18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,35 |
| Nb ₂ O ₅ | 15,10 | 9,20 | 10,04 | 10,23 | 1,56 | 1,21 | 2,17 |
| Ta ₂ O ₅ | 0,63 | 1,89 | 0,99 | 0,52 | 1,33 | 1,16 | 0 |
| ThO ₂ | 0,75 | 0,78 | 1,11 | 0,43 | 0,45 | 0 | 0 |
| SiO ₂ | 1,02 | – | – | – | – | – | – |
| TiO ₂ | 33,99 | 38,40 | 39,68 | 38,72 | 49,32 | 53,78 | 50,02 |
| Al ₂ O ₃ | 0,40 | – | – | – | 0,78 | 0,64 | 3,49 |
| Y ₂ O ₃ | 0,65 | 0,59 | 0,63 | 0,58 | 0,46 | 0,31 | – |
| TR ₂ O ₃ | 27,63 | 28,87 | 30,95 | 33,67 | 8,40 | 4,40 | 2,51 |
| FeO* | 0,37 | 0,52 | 0,14 | 0,33 | 2,36 | 1,93 | 0,86 |
| MnO | 0 | – | – | 0 | – | – | 0 |
| CaO | 2,48 | 4,49 | 4,53 | 4,03 | 30,98 | 34,75 | 35,07 |
| SrO | 5,53 | 4,64 | 4,14 | 1,95 | 1,73 | 1,09 | – |
| BaO | 1,25 | – | 0,05 | 0,16 | 1,10 | – | – |
| Na ₂ O | 10,00 | 10,62 | 7,75 | 9,37 | 1,53 | 0,74 | 3,13 |
| Сумма | 99,98 | 100 | 100,01 | 99,99 | 100 | 100,01 | 97,60 |

РЕДКОЗЕМЕЛЬНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ

Суммарное содержание редкоземельных элементов в некоторых литологических разностях мезозой-кайнозойских отложений бассейна верхней Камы достигает 10 г/м³. Например, повышенные концентрации редких земель характерны для мелкозернистых песков и валунных галечников с повышенным содержанием тяжелых минералов, при накоплении которых создаются благоприятные условия для проявления процессов механической концентрации ценных минералов.

Главным минералом-носителем редких земель является *Се-монацит*, содержание которого в отложениях юго-восточных районов бассейна верхней Камы составляет от 0,2 до 7,5 г/м³. Присутствие монацита достаточно легко устанавливается при выделении неэлектромагнитной тяжелой подфракции, где его зерна концентрируются благодаря их диамагнитным свойствам (табл. 4).

Размер зерен монацита в основном колеблется в пределах от 0,25 до 0,05 мм, но в наиболее грубообломочных отложениях присутствуют зерна размером до 0,5 мм и более (табл. 5).

Тонкозернистый монацит характерен

для песчаных литофаций; в них существенно преобладают частицы размером менее 100 мкм. Намечается закономерное укрупнение зерен монацита в направлении с севера на юг. В том же направлении возрастают и его концентрации (в среднем в 2–3 раза).

В химическом составе монацита содержание оксидов редких земель составляет 50–70 мас.%. Для данного минерала характерно постоянное присутствие тория. Содержание ThO₂ в мономинеральной фракции монацита составляет в среднем около 6 мас.%, в отдельных зернах – до 20 мас.% (табл. 6).

В 2011 г. на территории бассейна верхней Камы нами был обнаружен *куларит* – аутигенная разновидность монацита, которая мало отличается от последнего по химическому составу. Он представлен землисто-серыми пористыми слоистого сложения зернами с матовым блеском и очень трудно узнается при минералогическом анализе, т.к. принимается за другие распространенные минералы. Куларит значительно крупнее, чем монацит, и его содержание в породе может быть на порядок больше, чем таковое монацита.

Таблица 4

Содержание монацита в отложениях бассейна верхней Камы

| Объект | Современный галечный аллювий | | | | | | Юрские пески | |
|----------------------------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-----|--------------|--------|
| | Чус | Янчер | Лолог | Кужва | Кодзь | Юм | Кодзь | Черная |
| Отложения, г/м ³ | 4,5 | 7,5 | 0,7 | 6,6 | 1,0 | 0,2 | 1,8 | 0,5 |
| Неэлектромагнитная подфракция, % | 2,6 | 3,9 | 1,6 | 3,2 | 2,1 | 0,5 | 2,5 | 0,9 |

Таблица 5

Гранулометрический состав зерен монацита, %

| Объект | Возраст | Литология | Классы, мм | | | | |
|--------------------|----------------|-----------|------------|----------|----------|----------|-------|
| | | | 1-0,5 | 0,5-0,25 | 0,25-0,1 | 0,1-0,05 | <0,05 |
| Бассейн р. Весляны | J ₂ | Песок | – | – | 40 | 55 | 5 |
| « | « | Галечник | – | 12 | 80 | 6 | 2 |
| Бассейн р. Вурлам | Q ₄ | « | – | 5 | 50 | 40 | 5 |
| Бассейн р. Сюзъвы | « | « | 1 | 25 | 63 | 8 | 3 |
| Бассейн р. Чус | « | « | 3 | 28 | 65 | 3 | 1 |

Таблица 6

Химический состав характерных редкоземельных минералов, мас. %

| Компонент | Монацит | | | Куларит | | Флоренсит | | Алланит |
|--------------------------------|---------|--------|--------|---------|--------|-----------|--------|---------|
| | Чус | Коса | Вурлам | Юм | Черная | Лолог | Черная | Кодзь |
| SO ₃ | 0,70 | 0 | 0,20 | 0 | 1,16 | 0,19 | 0,53 | – |
| UO ₃ | 0,43 | 0,65 | 2,56 | 0 | 0 | – | – | 0 |
| P ₂ O ₅ | 30,82 | 26,44 | 31,42 | 15,75 | 25,60 | 29,12 | 27,49 | – |
| SiO ₂ | 0,40 | 3,53 | 0,43 | 6,48 | 1,21 | 0,67 | 1,08 | 33,44 |
| TiO ₂ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | – | – | 0,58 |
| ThO ₂ | 3,35 | 19,83 | 6,24 | 0,41 | 4,71 | – | – | 0,13 |
| ZrO ₂ | 0,83 | 0,44 | 0,99 | – | – | – | – | – |
| TR ₂ O ₃ | 62,01 | 46,12 | 55,67 | 56,52 | 61,05 | 30,18 | 20,08 | 28,33 |
| Al ₂ O ₃ | – | 0,09 | 0,20 | 4,71 | 1,59 | 28,69 | 28,96 | 14,35 |
| Sc ₂ O ₃ | – | – | – | – | 0,10 | – | – | – |
| Y ₂ O ₃ | – | 0,48 | 0 | 0 | – | – | – | – |
| FeO* | 0 | 0 | 0 | 1,26 | 1,42 | 1,26 | 3,22 | 14,86 |
| CaO | 0,89 | 1,28 | 1,73 | 0,27 | 1,29 | 1,18 | 1,70 | 8,66 |
| MgO | – | – | – | 2,55 | – | – | – | 0,50 |
| MnO | – | – | – | – | – | – | – | 1,68 |
| SrO | 0,38 | 0,60 | 0,54 | 0,28 | – | 2,82 | 3,90 | – |
| BaO | 0 | 0,30 | 0 | 0,23 | – | 0,22 | 0,45 | – |
| PbO | 0 | 0,26 | 0 | 0 | – | 0 | 1,17 | – |
| ZnO | – | – | – | – | – | – | 0,66 | – |
| F | – | – | – | 0,73 | – | – | – | – |
| Сумма | 99,81 | 100,02 | 99,98 | 89,19 | 98,13 | 94,33 | 89,24 | 102,53 |

В юго-восточных районах Вятско-Камской впадины в заметных количествах присутствует также редкоземельный фосфат алюминия – *флоренсит*, содержание которого достигает 5 г/м³.

Из других редкоземельных минералов в небольших количествах здесь встречаются *алланит* и *гойяцит*.

В северных районах Вятско-Камской впадины среди редкоземельных минера-

лов, кроме монацита, распространены, как указывалось выше, лопарит с содержанием TR₂O₃ до 36 мас.% и перовскит (до 8,5 мас.%).

Широкое распространение редкоземельных минералов на территории Вятско-Камской впадины также связано с близостью Урала и Тимана, откуда поступила основная масса их зерен. В то же время разнообразие форм нахождения

редкоземельных элементов требует особого объяснения. Так, редкие земли (в основном в виде минералов монацита и куларита) образуют пленки и налеты на зернах золота, обогащают глинистые осадки, железистые новообразования, типичные для среднеюрской толщи, и т.д. Скорее всего, редкие земли связаны с раннемезо-

зойской корой выветривания, в ходе формирования которой, вероятно, происходила их мобилизация за счет разложения растительных и животных остатков, химического преобразования минералов группы эпидота, весьма характерных для данной территории, и т.д.

МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА РЕГИОНА И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ ОСВОЕНИЯ

За последнее десятилетие данные о минерально-сырьевой базе территории бассейна верхней Камы существенно расширились. Работами, проведенными в 1999–2003 гг. [3], были обоснованы ресурсы золота в долинах верхних течений ряда малых рек (Косы, Кодзи, Янчера, Кужвы, Лолога, Вурлама и др.). Среднее содержание золота на отдельных полигонах достигает 150 мг/м^3 , что примерно в два раза меньше минимально допустимого для промышленной обработки (табл. 7).

Золото здесь преимущественно весьма мелкое ($0,25\text{--}0,1 \text{ мм}$) и уплощенное, что снижает показатели процесса гравитационного обогащения. Проведенные полупромышленные испытания показали, что при обычной схеме гравитационного обогащения происходят существенные потери металла, а применяемые дополнительные операции заметно удорожали работы. В результате был сделан вывод о неперспективности района в отношении россыпного золота.

Однако исследования последних лет и полученная принципиально новая информация позволяют вновь вернуться к данной проблеме. Во-первых, наряду с рос-

сыпным металлом были обнаружены проявления ртутистого золота и амальгам нового формационного типа, которые относятся к местным коренным источникам металла. В одном из рудопроявлений (в районе п. Керос) содержание золота составило 300 мг/м^3 . Оно представлено комковатыми выделениями агрегатного строения размером до 1 мм (рис. 2). Установлена важная роль нанофаз золота в образовании этой минерализации, инициированной процессами раннемезозойской тектономагматической активизации региона [6, 7].

Во-вторых, наряду с золотом в россыпных проявлениях встречаются платиноиды, среднее содержание которых для указанных выше полигонов составляет от 7 до 12 мг/м^3 (см. табл. 7). Размер зерен платиноидов еще мельче, чем золота (преобладают частицы размером менее $0,1 \text{ мм}$), но они имеют более изометрический облик и повышенную плотность и поэтому достаточно хорошо извлекаются гравитационными методами.

Обнаружение первых алмазов (размером менее $0,5 \text{ мм}$) открывает новые направления в изучении минерально-сырьевой базы региона. Нами обоснованы пер-

Таблица 7

Средние содержания золота и платиноидов в русловых галечниках рек на перспективных участках, мг/м^3

| Объект | Участок | Концентрация | | Число проб |
|--------|------------------------|--------------|------------|------------|
| | | золото | платиноиды | |
| Кодзь | Выше с. Усть-Березовка | 108 | 10 | 17 |
| Кужва | 15–20 км от истока | 125 | 8 | 13 |
| Лолог | 3–5 км от истока | 102 | 12 | 9 |
| Коса | Выше д. Верх-Коса | 127 | 10 | 18 |
| Янчер | Выше д. Мордвино | 150 | 7 | 16 |

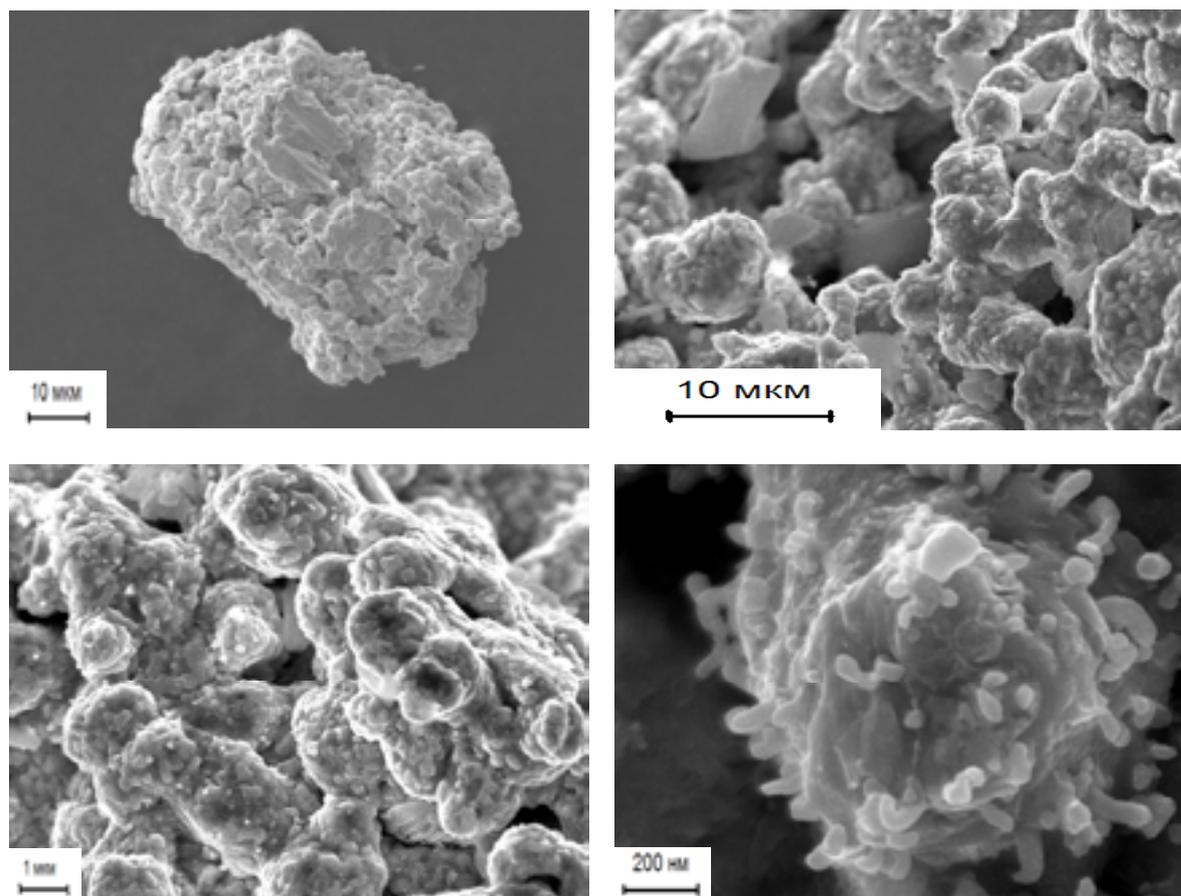


Рис. 2. Золото агрегатного строения (слева сверху) и слагающие его микроглобулы и наночастицы

спективы района на обнаружение коренных источников алмазов (кимберлитов) и россыпей, приуроченных к базальному горизонту грубообломочных среднеюрских отложений [4].

Россышепроявления алмазов, прогнозируемые на территории бассейна верхней Камы, могут оказаться аналогами россыпей западного склона Урала. Проведенные ранее в Красновишерском алмазоносном районе исследования позволили сделать вывод о присутствии в россыпях мелких алмазов в соотношении 10:1 с крупными (размером более 1 мм). Для находки одного мелкого кристалла алмаза требовалось промыть несколько кубометров породы [8]. Аналогичные значения получены и для бассейна среднего течения р. Весляны (Серебрянская площадь), где один мелкий алмаз в среднем приходится на 5 м³ породы.

Предлагаются два направления работ по освоению минерально-сырьевой базы

твердых полезных ископаемых на территории бассейна верхней Камы.

Первое направление предусматривает проведение прогнозно-поисковых работ на комплексные россыпи. Наиболее вероятно обнаружение в районе золото-платиновых россыпей с тантал-ниобиевыми, редкоземельными, титан-циркониевыми минералами и касситеритом. Наиболее распространенным из полезных минералов является ильменит, содержание которого в отложениях достигает 1,5 кг/м³. Ценными элементами-примесями в составе минералов являются торий, уран, скандий, ванадий, свинец. Технологическая схема разработки таких россыпей должна предусматривать необходимость извлечения в первую очередь благородных металлов и по возможности – других полезных минералов.

Эксперименты по обогащению малых технологических проб показали, что при двух-трехкратной схеме пропуска обломочного материала на винтовом сепарато-

ре может быть получен конечный коллективный концентрат с содержаниями ценных минералов (в г/т): золота – до 25–50, платиноидов – до 3–5. Основную часть данного концентрата (до 60 %) будет составлять ильменит, высокие содержания достигаются и для других полезных минералов, особенно циркона (10–15 %), рутила (10–15 %) и монацита (до 1 %) [9].

Другим типом комплексных россыпей могут быть золото-алмазные с теми же попутными компонентами. Для таких россыпей основным звеном технологической схемы разработки должно быть извлечение алмазов промышленной крупности (размером более 1 мм). Она должна предусматривать грохочение обломочного материала с выделением классов 8-4, 4-2 и 2-1 мм, их обогащение на отсадочных машинах и про-

смотр концентратов на алмазы. Класс частиц размером менее 1 мм может быть обогащен на винтовых сепараторах с выделением концентрата золота, платиноидов и других полезных минералов.

Второе направление предполагает комплексную разработку месторождений песчано-гравийной смеси с ее грохочением и получением классифицированного гравия (40-20, 20-10 и 10-5 мм). Отсев частиц размером менее 5 мм при этом подвергается гравитационному обогащению с получением высокосортного строительного или формовочного песка (хвосты обогащения) и концентрата ценных минералов. Данное направление может стать актуальным в случае строительства железнодорожной магистрали Соликамск–Архангельск.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Присутствие тантал-ниобиевой и редкоземельной минерализаций, наряду с золотом, платиноидами, алмазами, ильменитом, цирконом, рутилом, касситеритом и другими ценными минералами, в мезозойских и кайнозойских отложениях бассейна верхней Камы существенно расширяет минерально-сырьевой потенциал твердых полезных ископаемых данного района. Полученные данные свидетельствуют о возможности обнаружения здесь нетрадиционных месторождений полезных ископаемых. Последние отличаются от обычных месторождений комплексным характером минерального сырья, преобладанием мелких частиц полезных минералов (включая наноразмерные),

сложным сочетанием седиментационных, гипергенных, метасоматических и эндогенных процессов минералообразования при формировании оруденения [10].

Успехи в области технологии обогащения минерального сырья позволяют рассчитывать на возможность применения соответствующих технологических схем и экономически выгодных способов извлечения полезных продуктов при разработке таких месторождений.

Автор выражает благодарность сотрудникам кафедры минералогии и петрографии и ЕНИ ПГНИУ за участие в полевых и лабораторных исследованиях.

Библиографический список

1. Лунев Б.С., Осовецкий Б.М. Мелкие алмазы Урала. – Пермь: Перм. ун-т, 1996. – 128 с.
2. Луцаков А.В., Быховский Л.З., Тигунов Л.П. Нетрадиционные источники попутного получения золота: проблемы и пути решения. – М.: ВИМС. – 2004. – 82 с.
3. Наумов В.А., Илалтдинов И.Я., Осовецкий Б.М. и др. Золото Верхнекамской впадины. – Кудымкар–Пермь: Коми-Пермяц. кн. изд-во, 2003. – 218 с.
4. Наумов В.А., Осовецкий Б.М. // Литология и полезные ископаемые. – 2013. – № 3. – С. 253–270.
5. Осовецкий Б.М. «Алмазная» дорожка к кимберлитам // Вестник Перм. науч. центра. – 2009. – № 2. – С. 50–63.
6. Осовецкий Б.М. // Изв. вузов. Горный журнал. – 2011. – № 6. – С. 32–38.
7. Осовецкий Б.М. // Литосфера. – 2011. – № 4. – С. 3–19.
8. Осовецкий Б.М. Наноскульптура поверхности золота. – Пермь: Перм. ун-т, 2012. – 232 с.

9. *Осовецкий Б.М.* Россыпеобразующие минералы Вятско-Камской впадины. – Пермь: Перм. ун-т, 2011. – 250 с.
10. *Шило Н.А.* Учение о россыпях. – Владивосток: Дальнаука, 2002. – 576 с.

**Ta-Nb AND TR-MINERALIZATION IN MESOZOIC-CENOZOIC SEDIMENTS
OF THE UPPER KAMA BASIN AND PERSPECTIVES OF EXPANDING
AND DEVELOPMENT OF MINERAL RESOURCES IN THE REGION**

B.M. Osovetskiy

The results of investigating Ta-Nb (minerals: ilmenorutile, columbite, Nb-loparite, Nb-ilmenite, Nb-perovskite, Ta-rutile, pyrochlor) and TR (Ce-monazite, florencite, kularite, allanite, Ce-loparite, Ce-perovskite) mineralization in Mesozoic and Cenozoic terrigenous sediments of the Upper Kama basin are presented. The attendant useful minerals are gold, platinum metals, diamond, cassiterite, ilmenite, zircon, rutile, etc. The field expeditions with sampling and enrichment of panning and gross samples on spiral separator or sluice have been carried out. Under laboratory conditions effective express-methods of concentrate processing and selection of placer minerals are applied. The methods of electron microscopy, mineralogical, microprobe, X-ray, diffraction and thermic analysis are used. The perspectives of development of mineral resources in the region are connected with discovering complex placers and simultaneous extraction of precious minerals during exploitation of sandy-gravel deposits.

Keywords: Nb and TR minerals, gold, platinum metals, diamond, Upper Kama, investigation methods, complex placers, sandy-gravel deposits.

Сведения об авторе

Осовецкий Борис Михайлович, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией минералого-петрографических исследований Естественнонаучного института Пермского государственного национального исследовательского университета (ЕНИ ПГНИУ), 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15; e-mail: opal@psu.ru

Материал поступил в редакцию 27.06.2013 г.