

УДК 553.041(470.531+470.342)

РЕДКОЗЕМЕЛЬНАЯ И ТАНТАЛ-НИОБИЕВАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ МЕЗОЗОЙСКО-КАЙНОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ВЯТСКО-КАМСКОЙ ВПАДИНЫ

© 2010 г. Б. М. Осовецкий

Пермский государственный университет

614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15

E-mail: mineral@psu.ru

Поступила в редакцию 22.06.2009 г.

Представлены некоторые результаты детального изучения минерального состава тяжелой фракции мезокайнозойских отложений Вятско-Камской впадины, полученные при проведении прогнозно-поисковых работ на алмазы. Выявлено широкое распространение в этих отложениях редкоземельной и тантал-ниобиевой минерализации. Дана минералогическая характеристика основных минералов-носителей вышеуказанных элементов (монацита, флоренсита, лопарита, перовскита, ортита, ильменорутила, тантало-рутила, колумбита-танталита, ниобийсодержащего ильменита и псевдобрукита). Рассмотрено индикаторное значение данных минералов при решении вопроса об источниках питания обломочного материала мезозойских алмазоносных отложений района и проанализированы проблемы выявления комплексных месторождений песчано-гравийных строительных материалов.

Ключевые слова: *мезокайнозой, Вятско-Камская впадина, редкоземельная минерализация, тантал-ниобиевые минералы, микрозонд, источники питания, комплексные месторождения.*

ВВЕДЕНИЕ

Вятско-Камская впадина, несмотря на сравнительно небольшую по площади территорию, ограниченную с востока, юга и запада границей распространения нижнетриасовых пород, а на севере – неширокой перемычкой юрских отложений, отделяющей ее от аналогичной по строению Сысольской впадины (рис. 1), давно привлекает внимание исследователей. В тектоническом отношении она представляет собой относительно молодую наложенную структуру, заложение которой произошло в раннем мезозое на территории северной части Верхнекамской впадины. С запада Вятско-Камская впадина непосредственно примыкает к весьма активной в тектоническом отношении структуре древнего заложения – Казанско-Кажимскому авлакогену. В позднем палеозое авлакоген испытал инверсию, сформировалась положительная тектоническая структура (Вятская зона валов), которая вплоть до голоцена отличалась интенсивным подъемом земной коры. На севере впадина ограничена Предтима́нским прогибом.

На начальном этапе развития впадина представляла замкнутый континентальный бассейн осадконакопления, в который обломочный материал сноился с прилегающих возвышенностей [1]. Первоисточниками питания, по мнению разных исследователей, на востоке и северо-востоке являлись продукты разрушения пород двух крупных областей сноса – Урала и Тимана, на северо-западе – Карелии и Кольского полуострова, на юге и юго-западе – Воронежского массива, Татарского и Токмовского

сводов. После отложения раннетриасовых осадков наступил длительный перерыв в осадконакоплении, который сопровождался формированием раннемезозойской коры выветривания по терригенным породам верхней перми и нижнего триаса. Новый эрозийный цикл, начавшийся в среднеюрскую эпоху, привел сначала к размыву и переотложению продуктов раннемезозойской коры выветривания, а затем – к поступлению “свежего” обломочного материала с разных направлений. В позднеюрскую и раннемеловую эпохи территории впадины занимал мелководный морской бассейн.

На территории впадины сформировался своеобразный комплекс рудопоявлений (железных руд, фосфоритов, золота и платиноидов), а также месторождений строительных материалов. Осадочные железные руды и фосфориты разрабатывались на протяжении многих десятилетий. В XIX веке старателями велась добыча золота. Поисковые работы на россыпное золото периодически продолжались вплоть до настоящего времени, однако до сих пор не привели к положительным результатам.

Мезокайнозойские образования территории Вятско-Камской впадины изучаются нами поэтапно с 1963 г. На первом этапе по результатам проведения шлихового и литологического опробования современного аллювия и питающих пород бассейнов верхних течений рек Вятки и Камы было выполнено терригенно-минералогическое районирование территории [15], установлены зоны концентрации мелкого золота. В конце 70-х годов прошлого века сотрудники Пермского университета приняли участие

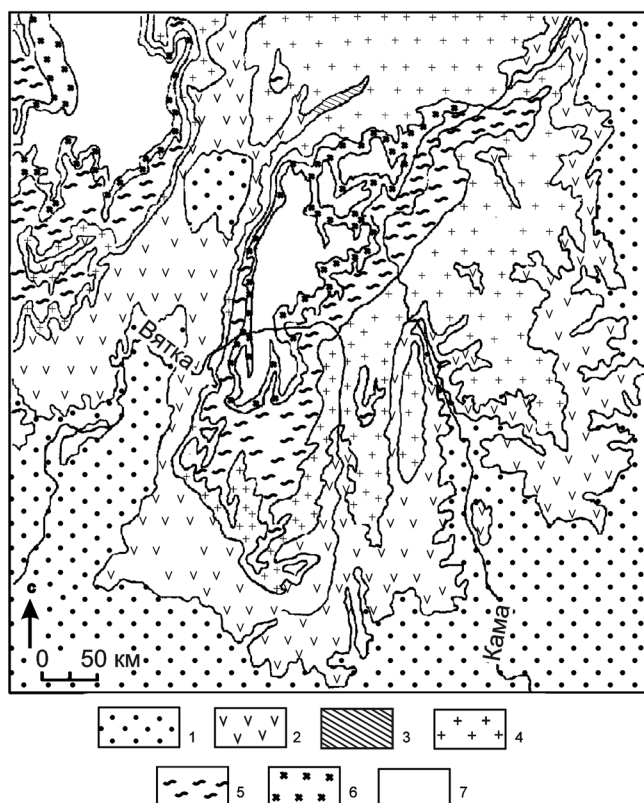


Рис. 1. Геологическое строение территории Вятско-Камской впадины (фрагмент геологической карты СССР, 1980 г., гл. редактор Д.В. Наливкин).

1 – верхняя пермь, 2 – нижний триас, 3 – нижняя юра, 4 – средняя юра, 5 – верхняя юра (келловейский, оксфордский и кимериджский ярусы), 6 – верхняя юра (нижне- и верхневолжский ярусы), 7 – нижний мел.

в поисковых работах на россыпное золото, проводимых Средне-Волжской КГРЭ под руководством Г.И. Блома. Основным районом исследования являлась территория бассейна верхнего течения р. Косы. В ходе этих работ с применением бурения было выявлено струйчатое распределение золота по всей толще аллювиальных отложений без образования богатых приплотиковых концентраций.

В 1989 г. под руководством В.А. Наумова и автора статьи проведена экспедиция по оценке золотоносности современного аллювия верхнего течения р. Камы с отбором проб объемом 0.1 м³ из речных кос и обогащением их на винтовом шлюзе. Установлена важная роль положительных неотектонических структур в контроле золотоносности. В частности, наибольшие концентрации косового золота отмечены на участке долины реки от с. Афанасьево до пос. Слудниковский, приуроченном к одной из таких структур.

С 1998 г. сотрудниками Пермского университета начато систематическое шлиховое опробование мезокайнозойских отложений Вятско-Камской впадины с дополнительным обогащением

проб повышенного объема (до 0.5 м³) на винтовом шлюзе. Были установлены повышенные концентрации платиноидов в современном аллювии некоторых водотоков [14], обнаружены минералы-спутники алмаза (пиропы, хромдиопсиды и др.). В 2003–2004 гг. проведено шлиховое опробование на территории северных районов Кировской области с целью выявления площадей распространения минералов-спутников алмаза [11]. Наиболее высокая их встречаемость отмечена в современном аллювии районов, прилегающих к зоне Казанско-Кажимского авлакогена.

В 2006 г. в результате совместных работ сотрудников Пермского университета и ЗАО “Пермгеологодобыча” были найдены первые алмазы в среднеюрских отложениях бассейна среднего течения р. Везляны [10, 12, 13, 18]. Затем мелкие алмазы были обнаружены в нижнетриасовых отложениях бассейна верхнего течения р. Косы [19]. Используемая с этой целью методика опробования с отбором и обогащением проб объемом 1–3 м³ позволила получить весьма представительные по массе концентраты тяжелых минералов. Детальное изучение минерального состава данных концентратов сочеталось с дополнительным исследованием ранее полученных шлихов. Применение современных аналитических методов, в первую очередь электронной микроскопии, микрозонда и рентгеноструктурного анализа, привело к обнаружению большого количества минералов, состав которых отражает широкую минерагеническую специализацию мезокайнозойских отложений Вятско-Камской впадины (благородные металлы, алмазы и минералы-спутники, интерметаллиды, минералы титана, циркония, редких земель, ниобия, тантала, тория, ртути, олова, свинца, меди, цинка и др.). Тем самым создались благоприятные перспективы для переоценки ресурсной базы этой территории.

В данной статье обсуждаются первые результаты изучения тантал-ниобиевой и редкоземельной минерализации в мезокайнозойских отложениях Вятско-Камской впадины.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Основными объектами исследований, результаты которых приведены в статье, являются отложения нижнего триаса и “надрудной пачки” средней юры, вскрытые карьерами в восточном борту Вятско-Камской впадины (рис. 2). Особое внимание именно к этому району и указанным стратиграфическим подразделениям обусловлено присутствием в них алмазов и минералов-спутников, а также золота и платиноидов.

В полевых условиях в карьерах, вскрывших крупнообломочные отложения нижнего триаса и средней юры, отбирались пробы объемом 1 м³ с целью установления присутствия в них мелких алма-

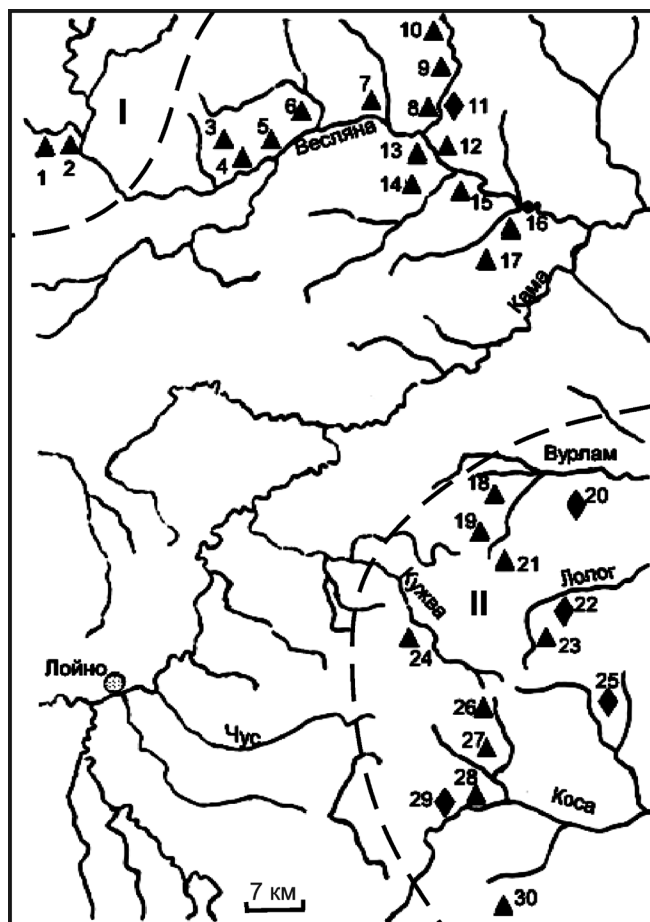


Рис. 2. Схема расположения пунктов крупнообъемного опробования нижнетриасовых (ромбы) и среднеюрских (треугольники) отложений на территории восточного борта Вятско-Камской впадины:

1, 2 – район пос. Усть-Черная; 3, 4 – район пос. Пельмин-бор; 5 – р. Глубокая; 6 – р. Пожог; 7 – р. Березовая; 8–11 – бассейн р. Дозовки; 12, 13 – д. Давыдовка; 14, 15 – район пос. Оныл; 16, 17 – район д. Сосновая; 18, 19, 21 – бассейн р. Черной; 20 – Сервинский карьер; 22, 23 – бассейн верхнего течения р. Лолог; 24 – бассейн верхнего течения р. Кужвы; 25 – карьер у д. Мордвино; 26, 27 – бассейн р. Кодзь; 28, 29 – район пос. Верх-Коса; 30 – бассейн р. Андреевки. Штриховые линии – границы зон распространения минерализаций: I – лопарита и перовскита, II – монацита, ильменорутила и флоренсита.

зов. Пробы подвергались грохочению с применением малогабаритного щелевого грохота. Выделенный на грохоте мелкообломочный материал с крупностью частиц менее 4 мм обогащался на винтовом сепараторе с диаметром желоба 300 мм. Полученный при этом первичный концентрат несколько раз перепускался на том же аппарате с целью сокращения объема конечного концентрата, масса которого составляла от нескольких до 35 кг.

Кроме того, дополнительному исследованию подвергнуты шлихи, отмытые ранее из мезозой-

ских и четвертичных отложений практически на всей территории впадины. В частности, шлиховым опробованием охвачены долины верхнего течения р. Камы (от истока до с. Гайны), верхнего течения р. Вятки (от истока до с. Нагорское). Наиболее детальное опробование выполнено в бассейнах притоков рек Камы и Вятки (Весляны, Косы, Янчера, Кодзи, Вурлама, Лолога, Кужвы, Сюзвы, Чуса, Черной Холуницы и др.).

В процессе лабораторной обработки концентратов сотрудниками Пермского университета использованы три схемы, позволившие получать продукты разного минерального состава. Первая схема предусматривала использование электромагнитной сепарации с целью получения подфракций минералов с различной магнитной восприимчивостью. При этом слабоэлектромагнитная подфракция, содержащая основную массу зерен пиропов и хромдиопсидов, просматривалась полностью, что позволило попутно отобрать на микрозондовый анализ зерна многих перспективных в промышленном отношении минералов. Наиболее значительный интерес представляла неэлектромагнитная подфракция, в которой были сконцентрированы благородные металлы, интерметаллиды, минералы редких земель, олова, титана, циркония и др.

Вторая схема была рассчитана на выделение минералов повышенной плотности. С этой целью производилась отмывка неэлектромагнитной тяжелой фракции в бромформе с получением небольшого по объему “золотого” ультраконцентрата. Помимо частиц золота и платиноидов, в нем концентрировались минералы плотностью свыше 5 г/см^3 (монацит, касситерит, киноварь и др.). Третья схема применялась на заключительном этапе лабораторной обработки концентратов с целью получения “алмазного” ультраконцентрата. Для этого неэлектромагнитная подфракция подвергалась разложению в щелочи при температуре порядка 550°C . В полученном таким способом ультраконцентрате сохранялись только весьма термостойкие минералы (кроме алмазов, – шпинель, корунд, берилл, кальцитрит, касситерит, баделейт, муассанит, ганит и др.).

Применение указанных схем позволило достичь высокой степени концентрации весьма редких для мезозойских отложений Вятско-Камской впадины минералов и сравнительно быстро отобрать их для дальнейшего изучения. Оно включало исследование размерности зерен, их морфологических особенностей, оптических свойств, химического состава. В общей сложности изучено 38 концентратов крупнообъемных проб с суммарной массой тяжелой фракции свыше 100 кг и несколько сотен шлихов.

Микрофотографии минералов получены на стереомикроскопе MZ-16 Pol фирмы “LEICA” (ФРГ). Микрозондовый анализ зерен выполнен автором статьи на сканирующем электронном микроскопе JSM 6390LV фирмы “JEOL” (Япония) с EDS-

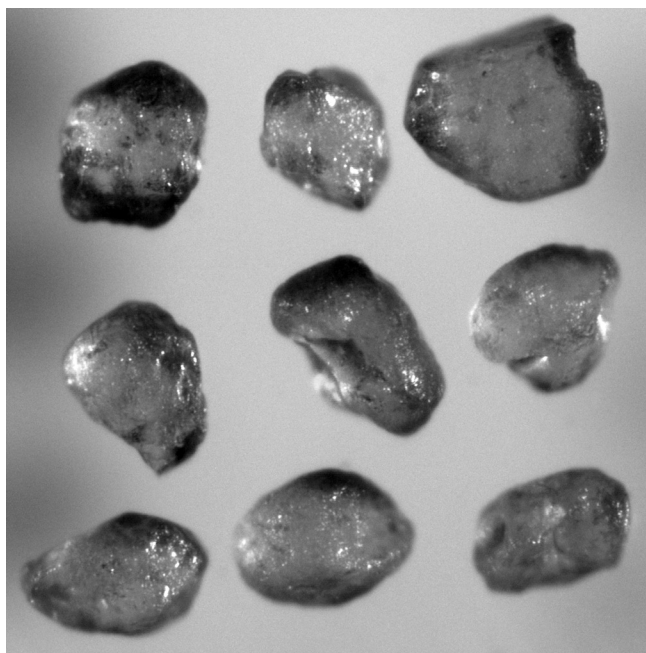


Рис. 3. Зерна монацита (размер до 0.5 мм).

и WDS-приставками фирмы “Oxford Instruments”. Некоторые анализы проводились на поверхности зерен в процессе их диагностики. Напыление зерен проводилось углеродом. Ускоряющее напряжение составляло 20 кВ, сила тока – 15 нА, время экспозиции – 150 с, диаметр зонда 10 мкм, рабочее расстояние – 15 мм. Контрольная проверка результатов по элементам с близкими пиками выполнена на волновом спектрометре. Использованы аттестованные эталоны, изготовленные фирмой “JEOL”, – чистых металлов, оксидов (Al_2O_3 , MgO , ThO_2 , CeO_2), сульфидов (FeS_2), фторидов (CaF_2 , SrF_2 , BaF_2 , PrF_3 , NdF_3 , PbF_2 , SrF_2), фосфида (GaP), борида (LaB_6) и силикатов (SiO_2 , CaSiO_3 , KAlSi_3O_8 , $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$). Всего сделано свыше 600 определений химического состава минералов. Часть анализов зерен ильменита и ильменорутила произведена в лаборатории ВСЕГЕИ (аналитик М.Д. Толкачев). В данной статье приведены данные по наиболее характерным разностям минеральных видов.

МИНЕРАЛЫ РЕДКИХ ЗЕМЕЛЬ

Основными минералами-носителями редкоземельных элементов в мезокайнозойских отложениях

Вятско-Камской впадины являются монацит, лопарит и флоренсит. Кроме того, лантаноиды в заметных количествах присутствуют в перовските, ортите и гойяците.

Монацит. Монацит является достаточно распространенным минералом в составе тяжелой фракции отложений мезокайнозоя, содержание которого достигает 0.1%. Его зерна отличаются характерной желтоватой окраской, обычно имеют овальную форму и гладкую поверхность, часто прозрачны (рис. 3). Степень окатанности зерен существенно различается. В частности, монациты в нижнетриасовых и среднеюрских отложениях преимущественно среднеокатаны или неокатаны, в современном аллювии – довольно хорошо окатаны.

Размеры основной части зерен находятся в пределах 0.25–0.05 мм, реже, и только в грубообломочных отложениях, достигают 0.5 мм и более. Гранулометрический состав зерен монацита характеризуется довольно широкими вариациями соотношений между размерными классами (табл. 1). В песчаных литофациях наблюдается хорошая сортировка частиц монацита по гидравлической крупности, что устанавливается по соотношению средних размеров зерен минералов разной плотности.

Степень концентрации зерен монацита контролируется литолого-фациальной обстановкой осадконакопления, показателем которой является гранулометрический состав отложений, стратиграфической приуроченностью толщ и тектоно-геоморфологической зональностью. Максимальные концентрации отмечаются в мелкозернистых песках, где они достигают 25 г/м³. Такие же концентрации встречаются в отдельных прослоях и линзах грубообломочного аллювия, отличающихся повышенной глинистостью и высоким выходом тяжелой фракции. Обычные концентрации монацита в крупнообломочных отложениях составляют первые граммы на кубический метр объема породы. В песках повышение содержания зерен монацита обусловлено эффектом сортировки по гидравлической крупности частиц размером менее 0.1 мм, в галечниках – гравитационным механизмом концентрации более крупных зерен.

По стратиграфическому разрезу наблюдается увеличение содержания монацита от более древних отложений (нижнетриасовых) к молодым (современному аллювию). Монацит присутствует также в небольших количествах в подстилающих верхнеперм-

Таблица 1. Гранулометрический состав зерен монацита в мезокайнозойских отложениях Вятско-Камской впадины, %

Место взятия	Литология, возраст	Классы, мм				
		1–0.5	0.5–0.25	0.25–0.1	0.1–0.05	<0.05
Бассейн р. Весляны	песок, J ₂	—	—	40	55	5
—	галечник, J ₂	—	12	80	6	2
Бассейн р. Вурлам	галечник, Q ₄	—	5	50	40	5
Бассейн р. Чус	галечник, Q ₄	3	28	65	3	1
Бассейн р. Сюзвы	галечник, Q ₄	1	25	63	8	3

Таблица 2. Химический состав зерен монацита мезокайнозойских отложений Вятско-Камской впадины, мас. %

Оксид	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
UO ₃	1.05	0.32	0	0.17	0.49	0.36	1.41	0.22	0	0.19	1.16	0	1.59	0	0.20	0.33
SO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.37	0	—	0.17	—
P ₂ O ₅	28.40	28.83	22.80	29.71	26.50	27.02	30.12	29.07	28.76	24.29	29.48	26.93	28.83	24.94	28.23	29.78
SiO ₂	1.15	1.70	2.42	2.21	3.09	1.35	1.37	1.21	1.87	2.27	2.52	2.62	2.94	3.44	1.88	1.03
ThO ₂	6.76	6.65	11.27	6.44	12.15	5.44	6.62	3.44	3.99	8.40	5.67	3.59	15.14	17.61	6.93	4.64
ZrO ₂	0.68	0.62	0.77	0.62	0.69	1.08	0.89	0	0.43	0.72	0.74	0.82	0.70	0.59	0.86	0.45
Al ₂ O ₃	0.70	0.80	0.53	0.64	1.05	0.60	1.00	0.69	1.18	0.79	1.82	1.04	1.34	—	0.85	0.58
Y ₂ O ₃	1.06	0	0	0	0.74	0	0	0	0	0	0.94	0	0	0	0	0
La ₂ O ₃	12.76	15.62	15.94	15.80	10.65	18.08	14.67	18.26	17.83	17.58	12.12	17.73	9.70	12.69	15.01	12.40
Ce ₂ O ₃	26.85	28.40	29.53	28.84	23.17	32.45	27.73	32.21	31.61	30.67	26.01	30.11	20.95	24.90	28.69	29.02
Pr ₂ O ₃	2.71	2.39	2.61	2.46	2.49	2.62	2.62	2.85	2.75	2.76	2.43	2.60	1.98	2.42	2.47	3.04
Nd ₂ O ₃	10.44	8.48	8.90	9.06	9.62	8.15	8.38	8.95	8.54	7.89	9.36	8.26	7.12	8.71	8.91	10.20
Sm ₂ O ₃	2.08	0.89	1.24	1.17	2.97	0.70	1.43	0.89	1.12	0.62	1.65	0.85	2.51	1.48	1.24	3.35
Gd ₂ O ₃	1.77	0.52	0.74	1.05	2.72	0.59	1.13	0.68	0.47	0.73	1.55	0.48	1.76	1.09	1.24	2.43
Dy ₂ O ₃	1.13	0.33	0.33	0.58	1.18	0.43	0.59	0.21	0.41	0.69	0.96	0.17	0.63	0.26	0.50	0.95
Yb ₂ O ₃	0	0	0	0.30	0.21	0	0	0	0	0.75	0	0	0	0	0.29	0
FeO*	0.14	0.07	0.11	0	0.30	0	0	0	0.15	0.16	0.60	0.26	0.31	0	0.66	0.42
CaO	1.72	1.35	1.56	0.71	1.57	0.91	1.57	0.71	0.64	0.85	2.01	1.59	2.95	1.02	0.99	0.76
BaO	0.28	0.12	0	0	0	0	0	0	0	0.24	0	0	0	0.17	0	0
SrO	0.17	0.20	0.17	0.24	0.21	0	0.33	0.33	0.23	0.41	0	0.32	0.20	0.27	0.29	0
PbO	0.14	0.27	0	0	0.21	0.22	0.17	0.28	0	—	0.16	0	0.20	0.22	0	0
Сумма	99.99	97.56	98.92	100	100.01	100	100.03	100	99.98	100.01	99.18	98.74	98.85	99.82	99.40	99.37

Примечание: * – содержание не определялось (здесь и далее).

ских песчаниках, из которых он перемывается в процессе многих эрозионных циклов и постепенно концентрируется. В среднеюрских толщах зафиксировано появление особенно значительных масс зерен монацита. Это связывается нами с существованием в среднеюрскую эпоху дополнительного источника питания, из которого поступали более крупные неокатанные зерна.

Микрозондовый анализ выполнен для 29 зерен монацита и показал присутствие нескольких разновидностей: высокоторийных с содержанием ThO₂ более 10% (14%), Y-содержащих (около 25%) и не содержащих иттрия (более 60%) (табл. 2). Установлено широкое проявление изоморфизма во всех структурных позициях. В частности, в анионном комплексе наблюдается изоморфное замещение комплекса [PO₄] на [SiO₄] и реже – [SO₄]. Наблюдаются разнообразные варианты изовалентного и особенно гетеровалентного замещения в катионной позиции с появлением Th, U, Sr, Fe, Zr, Y, Ca, Mg, Pb, Ba, Cu. Содержание ThO₂ варьирует от 3.29 до 17.61% (среднее 6.79%), UO₃ – от 0 до 1.41% (0.37%).

Для разновидностей с высоким содержанием тория характерны переменное содержание урана (вплоть до полного отсутствия), присутствие кальция (СаО более 1%) и стронция. Таким образом, можно предположить, что основная часть атомов тория появляется в кристаллической решетке монацита благодаря гетеровалентному изоморфизму с замещением двух трехвалентных парой двух- и четырехвалентного катионов и, следовательно, связана в миналах состава CaTh[PO₄]₂ и SrTh[PO₄]₂. Монацит с повышенным содержанием тория характерен для гранитов, гранитных пегматитов, мигматитов и карбонатитов [17, 28].

Важной характеристикой монацита в мезокайнозойских отложениях Вятско-Камской впадины является изменение количественного соотношения лантаноидов, что считается одним из типичных признаков их принадлежности к родоначальным породам. Разновидности с иттрием по соотношению лантаноидов наиболее близки к монацитам гранитных пегматитов, в то время как зерна, не содержащие иттрия, аналогичны по составу монацитам из щелочных пород и карбонатитов (табл. 3). Особенно заметные различия (примерно в два раза) между ними прослеживаются в содержании неодима, что установлено во многих районах мира. Так, детальные ис-

Таблица 3. Соотношение лантаноидов в монацитах, %

Элемент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
La	22.3	20.1	21.0	34.2	21.7	28.4	19.1	16.7	17.2	21.3	27.2
Ce	45.1	48.5	45.9	54.5	51.8	50.2	46.8	56.5	34.7	47.0	49.6
Pr	5.4	6.4	6.1	2.7	5.2	4.5	6.1	9.1	6.0	4.8	4.4
Nd	17.7	16.4	15.5	7.9	16.3	15.0	22.4	17.6	18.7	18.1	14.6
Sm	2.8	3.2	2.2	0.2	2.1	н.д.	н.д.	н.д.	7.7	3.6	1.9
Eu	0.1	0.2	0.3	н.д.	н.д.	—	—	—	0.2	н.д.	н.д.
Gd	1.8	2.7	1.7	0.3	0.8	1.9	4.9	—	4.8	3.1	1.4
Tb	0.2	0.3	0.2	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	—	0.5	н.д.	н.д.
Dy	1.0	1.9	0.6	0.1	0.4	—	—	—	1.7	1.9	0.8
Ho	0.3	0.3	н.д.	н.д.	н.д.	—	—	—	0.4	н.д.	н.д.
Er	0.4	0.4	0.3	0.1	—	—	—	—	1.1	—	—
Tu	0.1	0.1	н.д.	н.д.	—	—	—	—	0.2	—	—
Yb	0.8	0.4	0.6	0.1	—	—	—	—	1.6	—	—
Lu	0.1	н.д.	н.д.	н.д.	—	—	—	—	0.5	—	—
n	5	3	2	3	18	3	1	4	7	6	23

Примечания: Урал: 1 – граниты, 2 – пегматиты, 3 – щелочные породы [21], 4 – щелочной комплекс Вишневых гор [3], 5 – пегматиты Ильменских гор [20], 6, 7 – гранитные пегматиты Уразбаевского и Савекульского жильных полей [8]; Кольский полуостров: 8 – карбонатиты комплекса Лесная Варака [25]; Карелия: 9 – гранитные пегматиты [21]; Вятско-Камская впадина: 10 – иттрий-содержащий, 11 – без иттрия; н.д. – нет данных; n – число анализов.

следования состава редкоземельных элементов в монацитах гранитных пегматитов и щелочных пород и карбонатитов на территории Великобритании [27] показали, что доля неодима в среднем составляет соответственно 20.0 и 11.2%. Последние, вероятно, и были основными источниками питания зерен монацита, присутствующих в мезокайнозойских отложениях Вятско-Камской впадины. Помимо щелочных пород и карбонатитов, в меньшем количестве монациты могли поступать в результате размыва гранитных пегматитов.

Установлено определенное различие химического состава монацитов мезокайнозойских отложений на территории впадины. Так, монациты бассейна р. Вурлама (приток р. Косы) и р. Чуса (приток р. Камы) различаются по среднему содержанию ThO_2 (6.53 и 7.14% соответственно), CaO (1.06 и 1.31%) и SiO_2 (2.22 и 3.98%). Отмечено также различие состава относительно более крупных и мелких зерен, что может быть связано с поступлением их из разных источников питания.

Анализ данных по распространению, концентрации в отложениях, гранулометрии, морфологии и химическому составу зерен монацита позволяет предположить существование нескольких первоисточников питания. Сравнение гранулометрического состава и содержаний монацита в среднеюрских отложениях различных районов впадины показывает, что размеры его зерен, а также концентрации уменьшаются в северо-западном направлении. По этим причинам можно предположить, что поступление основной массы зерен монацита в среднеюрский бассейн седиментации происходило с Урала (рис. 2).

Литературные данные свидетельствуют о большой изменчивости химического состава монацита

не только в разных типах пород, но даже в пределах одного рудного поля. Монациты месторождений Урала характеризуются повышенными содержаниями тория, заметным присутствием иттрия, циркония и урана (за исключением пород щелочного комплекса Вишневых гор), небольшими содержаниями стронция [3, 8, 20, 21 и др.]. В осадочных породах северной части территории впадины несомненно присутствуют и тиманские монациты, которые известны в девонских песчаниках, метаморфических сланцах и корях выветривания [4, 7, 23]. Они отличаются более высокими, по сравнению с уральскими, содержаниями стронция, небольшими – тория и повышенной долей неодима и самария в составе лантаноидов. Наряду с породами Урала и Тимана, для северо-западных районов впадины одним из первоисточников питания зерен монацита могли являться щелочные породы и карбонатиты Кольского полуострова. Для них характерны высокие содержания тория и стронция и пониженные – лантана [25]. Однако для более надежных заключений о вероятных первоисточниках зерен монацита в осадочных породах Вятско-Камской впадины необходимы дополнительные исследования.

Флоренсит. Флоренсит впервые установлен нами в юрских отложениях бассейна р. Черной (приток р. Вурлама) в 2008 г. при просмотре слабоэлектромагнитной подфракции концентратов. Затем было установлено, что значительная часть зерен флоренсита присутствует также в неэлектромагнитной подфракции.

Зерна флоренсита в основном представлены кристаллами ромбоэдрического габитуса слабо- или среднеокатанными с матовым или жирным блеском полупрозрачными светло-желтовато-бурой, сероватой и буровой окраски. Нередко присутству-

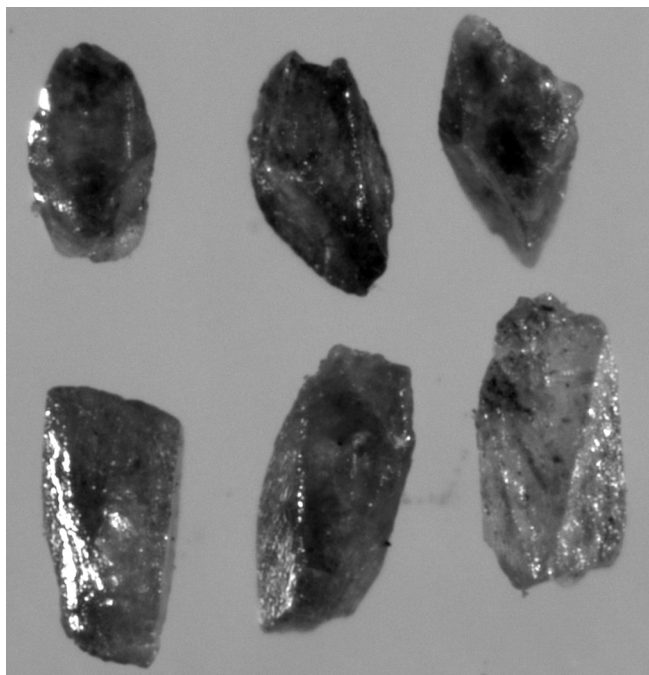


Рис. 4. Зерна флоренсита (размер по длинной оси до 0.6 мм).

ют осколки кристаллов. Реже встречаются хорошо окатанные индивиды округлой формы. Размер зерен обычно колеблется в пределах от 0.1 до 0.5 мм, очень редко встречаются зерна размером до 1 мм (рис. 4).

Встречаемость зерен флоренсита варьирует в широких пределах и максимальной величины достигает в песчано-гравийных с примесью мелкой гальки отложениях средней части разреза среднеюрской толщи. Здесь она оценивается величиной порядка нескольких тысяч зерен на 1 м³ пробы. В базальном горизонте “надрудной пачки” средней юры, сформировавшимся за счет перемыва ранне-мезозойской коры выветривания, встречаемость зерен флоренсита значительно ниже.

Химический состав, изученный по 40 зернам, отражает их принадлежность к твердому раствору гойяцит-флоренсита с переменным соотношением основных миналов. Так, доля флоренситового минала варьирует от 94 до 47%, гойяцита – от 3 до 37%. В нескольких зернах отмечено повышенное содержание вудхаузеита (до 15.5%). Обычен также горсейсит, присутствующий в небольшом количестве (до 3.7%). Остальные миналы, характерные для редкоземельно-стронциевых водных фосфатов (коркит, гинсдалит, сванбергит, плюмбогумит), присутствуют не во всех зернах и в небольшом количестве. Кроме того, установлено наличие мышьяковистого минала (бедантита). В отдельных зернах зафиксированы примеси Th, Zn, Cu, Ni и Ag (табл. 4).

Для описываемых редкоземельных алюмофосфатов характерны существенные вариации в соот-

ношении основных лантаноидов. Среди них установлены три группы: 1) с последовательным уменьшением доли в ряду Ce–La–Nd (72%); 2) с преобладанием неодима над лантаном (26%); 3) с преобладанием лантана над церием (2%). Изменение соотношения между главными элементами лантаноидов может свидетельствовать, по аналогии с другими минералами (флюоритом, перовскитом, лопаритом, цирконом и др.), о разном генезисе зерен флоренсита и, следовательно, о генетической связи их с различными источниками питания.

Вопрос о первоисточниках питания зерен флоренсита в мезозойских отложениях Вятско-Камской впадины весьма актуален в связи с широким распространением их в алмазоносных россыпях западного склона Урала [22]. В частности, можно предполагать наличие общего источника питания обломочного материала для россыпей алмазов Урала и алмазоносных юрских отложений Вятско-Камской впадины (рис. 2).

Гойяцит. По морфологическим особенностям и физическим свойствам гойяцит практически не отличается от флоренсита. Он встречается в юрских отложениях южных районов Вятско-Камской впадины существенно реже, чем флоренсит. По предварительной оценке в исходной кубометровой пробе может находиться до нескольких десятков зерен гойяцита. В химическом составе гойяцита доля оксидов редкоземельных элементов не превышает 8% (табл. 4, анализ 17). Соотношение основных миналов, которыми также являются флоренсит и гойяцит, значительно смещено в сторону преобладания гойяцитового компонента (более 70%). Кроме флоренситового (23%) минала, присутствуют горсейсит, вудхаузеит и плюмбогумит. Химическое сходство состава гойяцита и флоренсита позволяет предполагать существование непрерывного изоморфного ряда между ними и наличие общего первоисточника.

Лопарит. Данный минерал обычен для грубообломочного современного аллювия северо-западных районов Вятско-Камской впадины. Его встречаемость здесь достигает нескольких десятков зерен на шлиховую пробу. Морфологически лопарит представлен кристаллами кубического габитуса, их обломками и двойниками прорастания по шпинелевому закону (рис. 5). Характерной особенностью является дефектность кристаллов. Многие индивиды имеют на гранях штриховку, часто наблюдаются отпечатки следов других минералов. Степень окатанности большинства зерен низкая, но она заметно возрастает в восточном направлении. В том же направлении уменьшается средний размер зерен.

Окраска черная, буровато-черная и серовато-черная, нередко наблюдаются красно-бурые внутренние рефлексы. Иногда в зернах лопарита присутствуют включения мельчайших кристалликов апатита.

Таблица 4. Химический (мас. %) и минеральный (%) состав характерных разновидностей флоренсита (1–16) и гойяшита (17)

Оксид, минерал	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
SO ₃	0	0.67	0.16	0.53	0.08	0.26	1.12	0.54	0.06	0.25	0.48	0.53	0.44	0.59	2.13	2.08	0.40
P ₂ O ₅	31.07	26.25	29.57	24.98	30.83	26.46	28.54	27.28	28.03	30.06	27.15	27.49	27.60	26.91	29.22	25.88	30.25
SiO ₂	–	–	0.92	–	–	–	0.80	–	0.52	0.73	0.92	1.08	2.06	1.34	–	–	0.91
ThO ₂	0.63	0	–	1.26	0	1.20	–	1.07	–	–	–	–	0.92	2.89	0	1.81	–
Al ₂ O ₃	31.58	25.55	31.15	25.30	31.61	27.02	28.99	28.37	27.93	29.89	29.26	28.96	30.29	30.74	32.04	30.00	31.16
As ₂ O ₃	–	0.72	–	0.11	–	0.26	–	–	–	–	–	–	–	–	0.26	–	–
Ce ₂ O ₃	14.09	9.47	13.53	14.40	13.95	13.26	12.90	10.45	13.46	11.84	9.47	10.02	9.57	6.80	6.37	7.92	3.59
La ₂ O ₃	5.37	14.16	8.97	7.53	8.60	7.27	8.33	6.23	7.73	5.34	3.17	5.52	2.88	2.73	4.82	4.72	2.48
Nd ₂ O ₃	6.74	7.44	3.05	5.57	2.43	5.03	4.62	3.92	4.63	4.70	7.46	3.67	4.67	5.59	4.53	1.74	1.48
Pr ₂ O ₃	1.61	2.16	0.92	1.32	1.17	1.30	0.97	0.79	1.08	1.12	1.33	0.87	1.07	0.79	0.74	0.37	0.37
FeO*	0.14	1.87	0.33	2.75	0.11	2.02	0.33	1.50	0.07	0.20	2.63	3.22	1.90	3.56	0.81	3.20	1.23
ZnO	–	–	–	0.58	–	0.49	–	–	–	0.40	0.45	0.66	–	0.37	–	–	–
SrO	1.13	0.54	1.71	3.60	4.13	3.37	3.64	2.97	4.60	5.90	4.46	3.90	6.48	6.50	7.60	6.08	15.75
BaO	0	0.26	0.06	0.93	0	0.42	0.20	0.34	0.04	0.25	0.59	0.45	0.89	0.88	1.06	0.99	0.56
PbO	0	0	0	0.42	0	0.16	0.05	0.57	0.33	2.50	0.24	1.17	0.27	0.77	0.72	1.93	0.42
CaO	0.16	0.68	0.50	2.06	0.41	1.72	0.50	1.30	0.40	0.35	1.94	1.70	1.20	2.37	1.75	2.74	0.99
Сумма	92.52	89.77	90.87	91.34	93.32	90.24	90.99	85.68	88.88	93.53	89.55	89.24	90.24	92.83	92.05	89.46	89.59
Флоренсит*	94.2	92.0	86.0	80.8	79.7	79.1	78.2	76.3	75.3	66.0	64.9	61.2	54.3	49.3	47.3	47.2	23.0
Гойяшит	5.8	3.0	9.3	15.7	20.3	16.9	17.5	17.1	21.0	26.9	22.1	19.4	37.1	28.2	35.1	30.8	71.7
Горейскит	0	1.0	0.1	3.1	0	1.8	0.2	1.1	0	1.4	1.3	1.4	3.6	2.8	3.7	3.3	1.3
Вудхаузеит	0	1.0	4.6	0	0	0.6	4.0	4.5	2.8	0	11.0	15.3	2.5	15.5	12.0	14.3	2.7
Коркит	0	0	0	0	0	0	0.1	0.5	0	0.5	0.7	2.7	1.2	1.4	0.9	2.2	0
Гинсдалит	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9	5.2	0	0	0	0	0	0	0
Сванбергит	0	0	0	0	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0	2.8	0	0	0
Пломбогумит	0	0	0	0	0	1.0	0	0.5	0	0	0	0	1.3	0	0	2.2	1.3
Бедантит	–	3.0	–	0.4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1.0	–	–

Примечание. *Флоренсит – $\text{CeAl}_3[\text{PO}_4]_2(\text{OH})_6$, гойяшит – $\text{SrAl}_3[\text{PO}_4][\text{HPO}_4](\text{OH})_6$, горейскит – $\text{BaAl}_3[\text{PO}_4][\text{HPO}_4](\text{OH})_6$, вудхаузеит – $\text{CaAl}_3[\text{PO}_4][\text{SO}_4](\text{OH})_6$, коркит – $\text{PbFe}_3[\text{PO}_4][\text{SO}_4](\text{OH})_6$, гинсдалит – $\text{PbAl}_3[\text{PO}_4][\text{SO}_4](\text{OH})_6$, сванбергит – $\text{SrAl}_3[\text{PO}_4][\text{HPO}_4](\text{OH})_6$, пломбогумит – $\text{PbAl}_3[\text{PO}_4][\text{HPO}_4](\text{OH})_6$, бедантит – $\text{PbFe}_3[\text{AsO}_4][\text{SO}_4](\text{OH})_6$.

Химический состав изучен по 23 микрозондовым анализам. Среди них можно выделить две разновидности (табл. 5). Первая отличается повышенным содержанием диоксида титана (порядка 44 мас. %) и низким – оксидов железа (до 0.4%). Лопариты такого состава типичны для карбонатитов. Для второй разновидности, наоборот, характерно более низкое содержание титана (TiO_2 менее 38 мас. %) и более высокое – железа (FeO^* около 3%). Минеральный состав характеризуется постоянным присутствием четырех компонентов. Существенно преобладает лопаритовый компонент (63–71%), отмечены почти равные доли перовскитового и луэшитового (NaNbO_3) минералов – от 5.8 до 14.6%, в меньшем количестве установлен таунсонитовый минерал (SrTiO_3) – 3.4–7.4%. Среди характерных примесей следует выделить Ta, Th, U, W. Во всех зернах среди лантаноидов церий существенно преобладает над лантаном.

Для зерен лопарита в мезокайнозойских отложениях Вятско-Камской впадины наиболее вероятно существование двух первоисточников питания – щелочных пород Кольского полуострова и Урала. Основной снос в раннетриасовое время в восточные районы впадины происходил с Урала. Однако в западных районах существенная часть его зерен могла поступать с северо-запада, где в течение продолжительного геологического времени происходил размыв пород Балтийского щита. В среднем плейстоцене ледник способствовал поступлению на территорию впадины значительного количества зерен лопарита из районов Кольского полуострова и Карелии (рис. 2).

Перовскит. Перовскит присутствует в мезокайнозойских отложениях Вятско-Камской впадины повсеместно. Его содержание в современной аллювии, как и лопарита, заметно снижается в направлении с запада на восток. Встречаемость перовскита в со-



Рис. 5. Зерна лопарита (размер до 0.5 мм).

временном аллювии верхних течений Камы и Вятки оценивается величиной порядка нескольких десятков зерен на шлиховую пробу, в аллювии водотоков восточного борта впадины – порядка нескольких зерен. По результатам шлихового опробования современного аллювия северо-западных районов Кировской области встречаемость перовскита оценивается величиной до нескольких тысяч зерен на шлиховую пробу [11].

Зерна перовскита представлены кристаллами кубического и октаэдрического габитуса, их осколками и окатанными индивидами. Поверхность неровная с многочисленными ямками, углублениями, фигурами травления. Часто отмечается пластинчатое строение индивидов. Размеры зерен обычно не превышают 0.5 мм. Окраска серовато-черная или смоляно-черная, иногда с поверхности наблюдается интенсивная лейкоксенизация, из-за чего зерна приобретают светло-серую окраску (рис. 6).

В химическом составе зерен перовскита (45 микрозондовых анализов) отмечено почти постоянное содержание титана (TiO_2 – 55–60%), характерными примесями являются TR, Nb, Na, Sr, Fe, Th. Редкие земли обычно составляют 1–2%, иногда – более 3%, причем церий существенно преобладает (табл. 5). В минальном составе зерен перовскита доля главного компонента очень высока (85–98%), из других миналов выделяется лопаритовый (до 11.6%).

Перовскит попадал в мезокайнозойские осадки Вятско-Камской впадины, скорее всего, одновременно с лопаритом, из тех же первоисточников и теми же путями (рис. 2). Как известно, перовскит является также типичным компонентом кимберлитов, в частности Архангельской алмазонасной провинции. В связи с этим разбраковка его зерен с выде-

лением разностей кимберлитового происхождения является важной задачей будущих исследований. Данные большинства исследователей свидетельствуют о том, что типичные перовскиты кимберлитов отличаются повышенными содержаниями U, Th и TR [6, 26], чего в нашем случае не наблюдается. Однако имеющееся на данный момент небольшое количество анализов не позволяет сделать окончательный вывод о бесперспективности использования зерен перовскита при поисках кимберлитовых тел в этом районе. В то же время химический состав перовскитов из карбонатитов аналогичен таковому изученных нами разностей [5, 24]. Перовскит из щелочных основных пород Кольского полуострова содержит от 3.1 до 11.3% оксидов редкоземельных элементов, из апатитово-нефелиновых пород Хибин – до 8% [21]. Такие зерна в мезокайнозойских отложениях изучаемого района встречаются, но в подчиненном количестве.

Ортит. Зерно ортита было обнаружено при просмотре крупного класса (1–0.5 мм) тяжелой сильно-электромагнитной подфракции одной из проб, отобранной из нижнетриасовых отложений в бассейне нижнего течения р. Кодзь, и первоначально при визуальном описании было принято за хромшпинелид. Оно имеет черную окраску, полуметаллический блеск, неровную поверхность и среднюю степень окатанности. Вероятно, при специальном изучении данной подфракции с массовым микрозондовым анализом аналогичных зерен число находок ортита увеличится.

В химическом составе зерна доля оксидов редких земель превышает 28%, причем среди последних тяжелые лантаноиды существенно пре-



Рис. 6. Зерна перовскита (размер до 0.45 мм).

Таблица 5. Химический (мас. %) и минеральный (%) состав зерен перовскита (1-11) и лопарита (12-17)

Оксид, минерал	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
UO ₃	—	—	—	—	—	—	—	0	—	—	—	0.18	0	0	0	0.11	0
Nb ₂ O ₅	0.02	1.10	1.09	0.96	0.83	0.89	0.98	1.14	0.66	2.55	1.38	7.71	5.92	8.63	9.20	10.48	9.32
Ta ₂ O ₅	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.46	0.35	0.77	1.89	0.45	1.82
SiO ₂	—	0.23	0.31	0.33	0.29	0.69	0.28	—	0.46	0.43	—	0.50	1.35	0.52	0	0.67	0
TiO ₂	58.53	59.59	58.57	59.91	59.27	57.26	57.54	54.26	58.63	55.59	53.31	43.04	41.08	40.40	38.40	37.85	40.29
ThO ₂	0.05	—	—	—	—	—	—	0.23	—	—	0.17	0.59	0.36	0.38	0.78	0.70	0.83
Al ₂ O ₃	—	0.22	0.05	0.06	0.27	0.15	0.11	—	0.15	0.12	—	0.44	0.38	0.21	0	2.38	0.53
Cr ₂ O ₃	—	0	0	0	0.07	0	0	—	0.06	0	—	—	—	—	—	—	—
Ce ₂ O ₃	0.41	0.78	0.89	1.18	1.37	1.51	1.97	3.52	2.04	2.24	2.01	19.32	19.45	20.51	17.23	15.61	17.58
La ₂ O ₃	—	0.09	0	0	0	0.46	0.16	2.07	0.97	0.88	1.71	9.75	9.53	10.82	7.98	7.97	8.66
Pr ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	1.03	0.78	0.99	1.04	0.82	1.01
Nd ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	—	1.16	—	—	0.76	4.03	3.67	2.97	4.02	3.36	3.81
Sm ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	—	0	—	—	0	0	0	0	0	0	0
FeO*	0.65	1.15	0.70	0.87	1.09	1.04	1.09	1.61	1.00	1.22	1.76	0.58	2.09	1.68	0.52	3.15	0.77
MnO	—	0	0	0.04	0	0	0	—	0	0.06	—	—	—	—	—	0	—
MgO	—	0.10	0.02	0	0.15	0.04	0	—	0	0	—	—	1.23	—	—	—	—
CaO	39.73	37.44	35.70	37.49	37.52	37.08	36.20	35.78	35.81	35.21	36.93	4.28	4.24	2.69	4.49	1.89	4.06
SrO	0.24	0.35	0.83	0.40	0.30	0.52	0.70	0.88	0.33	0.56	0.72	1.51	1.29	0.98	4.64	1.97	3.54
Na ₂ O	0.19	0.77	0.90	0.54	0.24	0.35	0.95	0.85	0.25	0.89	0.50	8.25	7.61	8.15	9.62	8.69	7.72
K ₂ O	—	0	0.02	0.02	0	0	0	—	0	0	—	—	—	—	—	—	—
Сумма	100.64	101.84	99.06	101.80	101.41	99.99	99.99	101.5	100.35	99.75	99.25	101.67	99.33	99.70	99.81	98.92	99.94
CaTiO ₃	97.9	94.2	93.6	94.8	95.8	95.1	93.1	91.7	95.7	91.4	92.7	13.4	12.5	8.4	13.1	5.8	12.8
SrTiO ₃	0.3	0.5	1.2	0.5	0.4	0.7	0.9	1.2	0.5	1.0	1.0	2.5	2.0	1.6	7.4	3.4	6.0
CeFeO ₃	1.2	2.3	1.4	1.7	2.2	2.1	2.1	2.9	2.1	2.5	3.1	1.4	5.3	3.8	1.1	8.0	1.9
NaNbO ₃ *	0	0.8	1.1	1.0	0.8	0.9	1.0	1.3	0.8	2.4	1.5	10.5	7.7	11.9	12.8	13.5	13.8
NaTRTi ₂ O ₆	0.5	2.2	2.7	2.0	0.8	1.2	2.9	2.6	0.9	2.7	1.5	66.5	65.8	67.8	64.6	68.3	61.8
ThTi ₂ O ₆	0.1	—	—	—	—	—	—	0.3	—	—	0.2	0.8	0.5	0.5	1.0	0.9	1.0

Примечание. * Учено суммарное содержание ниобия и тантала.

обладают (мас. %): SiO₂ – 33.44, La₂O₃ – 14.88, FeO* – 14.86, ThO₂ – 0.13, Ce₂O₃ – 12.82, CaO – 8.66, TiO₂ – 0.58, Nd₂O₃ – 0.63, MnO – 1.68, Al₂O₃ – 14.35, Sm₂O₃ – 0.00, MgO – 0.50. Необходимо отметить также преобладание лантана над церием и отсутствие иттрия. В качестве примеси в небольшом количестве установлен торий, уран не зафиксирован.

Первоисточником зерен ортита, вероятно, являются породы Урала (пегматиты или кислые магматические). Крупные размеры и повышенная плотность обуславливают низкую миграционную способность зерен ортита. Однако более мелкие частицы вполне способны накапливаться в некоторых прослоях мезокайнозойских отложений.

ТАНТАЛ-НИОБИЕВАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ

Основным минералом-носителем ниобия и тантала в мезокайнозойских отложениях Вятско-Камской впадины является ильменорутит. Меньшее значение имеют ильменит, лопарит, колумбит-танталит, тантало-рутил и перовскит.

Ильменорутит. Массовые микрозондовые определения химического состава зерен рутила в мезокайнозойских отложениях впадины показали, что ниобий в них встречается часто и фиксируется в каждом третьем-пятом зерне произвольной выборки. Поэтому в данной работе к ильменорутилам условно отнесены только те разновидности, которые содержат не менее 3% Nb₂O₅. Среди разновидностей рутила ильменорутит довольно широко распространен. Его количество в изученных пробах оценивается величиной порядка 5–10% общего числа зерен рутила, что соответствует содержанию в породе 25–50 г/м³.

Обычно зерна рутила имеют ярко-красную или серовато-черную (нигрин) окраску, размеры варьируют от нескольких миллиметров до десятков микрон. Ильменорутит выделяется по остроу-

Таблица 6. Химический (мас. %) и минеральный (%) состав зерен ильменорутита (1–14), колумбит-танталита (15) и тантало-рутила (16)

Оксид	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
UO ₃	–	–	–	–	–	0	0.06	–	0	–	0	0	0	–	0.18	0
WO ₃	–	–	0.14	–	–	0.42	–	1.70	–	2.08	0.73	1.51	–	0.78	–	3.32
Nb ₂ O ₅	3.79	4.79	5.81	8.60	9.51	9.54	10.41	11.47	13.46	14.23	17.95	21.32	–	23.63	55.59	11.84
Ta ₂ O ₅	0	0.53	0.07	0.42	0.42	1.08	0.04	8.82	0.48	11.48	6.99	7.95	22.52	10.36	15.87	21.82
V ₂ O ₅	2.04	1.15	1.67	1.31	0.96	0.62	–	0.67	0.69	0	–	0.40	0.62	–	–	0.56
SiO ₂	0.85	1.07	0.22	1.47	2.67	0.82	0.94	0	2.47	0	2.11	–	2.98	1.98	–	–
TiO ₂	90.36	87.50	89.33	82.31	79.59	82.15	73.35	69.03	74.04	59.76	56.62	54.96	50.99	47.40	4.82	53.04
ThO ₂	0.11	0.11	–	0.13	0.07	0.22	0.12	–	0	–	0.06	0.17	0	–	0.07	0.23
Al ₂ O ₃	0.74	0.61	0.24	1.42	0.84	–	1.33	0.69	1.57	0.99	1.08	–	1.48	0.63	0.54	1.11
FeO	2.20	4.03	2.34	3.64	5.76	5.15	8.49	7.61	7.24	11.19	14.48	11.20	12.34	14.95	13.30	8.07
CaO	–	–	–	–	–	–	–	0	–	0	–	–	–	–	–	–
MgO	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
MnO	–	–	–	–	–	0	–	–	0.05	–	–	–	–	–	5.50	0
ZnO	0.31	0.22	0.18	0.39	–	–	0.44	0	–	0.27	–	–	–	0.27	–	–
Сумма	100.40	100.01	100	99.69	99.82	100	95.18	99.99	100	100	100.02	97.51	94.89	100	95.87	99.99

гольной форме осколков интенсивно-черного цвета с сильным блеском размером 0.25–0.1 мм.

Микрозондовый анализ (всего 50 определений) позволил выделить среди зерен ильменорутита разности с пониженным, средним и высоким содержанием ниобия (табл. 6). Их относительная доля обратно пропорциональна концентрации ниобия, при этом доля высокониибиевых разностей не превышает 10% общего числа зерен ильменорутита. Разности с относительно невысоким содержанием ниобия ($Nb_2O_5 < 10\%$) характеризуются низким содержанием тантала (Ta_2O_5 обычно менее 1%). В индивидуальных со средним содержанием ниобия (Nb_2O_5 от 10 до 20%) содержание тантала варьирует в широких пределах и иногда почти равно содержанию ниобия (Ta_2O_5 более 10%). Высоконибиевые разности ($Nb_2O_5 > 20\%$) отличаются также переменным содержанием тантала ($Ta_2O_5 - 4-10\%$). Торий является обычной примесью в ильменорутите, уран зафиксирован только в одном анализе.

Первоисточниками зерен ильменорутита для мезокайнозойских отложений Вятско-Камской впадины, вероятно, являются комплексы щелочных пород и гранитных пегматитов Урала (рис. 2). В частности, для ильменорутитов щелочного комплекса Вишневых гор характерны невысокие содержания ниобия и почти полное отсутствие тантала, в то время как для разностей из гранитных пегматитов типичны повышенные их содержания [3]. В ильменорутите Ильменских гор также установлено значительное содержание ниобия и тантала (мас. %): $TiO_2 - 53.04$; $Nb_2O_5 - 21.73$; $Ta_2O_5 - 14.70$; $FeO - 10.56$ [2].

Тантало-рутил. Пока нами обнаружено только одно зерно ниобий-танталовых минералов, в котором содержание тантала выше, чем ниобия (табл. 6, анализ 16). В его составе доли компонентов распределяются следующим образом (мас. %): $TiO_2 - 65.9$; $FeTa_2O_6 - 15.7$; $FeNb_2O_6 - 14.2$. По-видимому, данная разновидность рутила, в отличие от ильменорутита, встречается очень редко. В частности, анализ примерно того же состава приводится в книге У.А. Дира и др. [2].

Колумбит-танталит. Данный оксид сложного состава весьма редок. Микрозондовым методом определен химический состав одного зерна размером менее 0.2 мм. Его кристаллохимическая формула имеет вид: $(Fe_{0.67}Mn_{0.28}Al_{0.04})_{0.99}(Nb_{1.52}Ta_{0.26}Ti_{0.22}Sn_{0.02})_{2.02}O_6$. Соотношение колумбитового и танталитового компонентов близко к 6:1, железа в 2.5 раза больше, чем марганца. В заметном количестве присутствуют титан и олово, в небольшом – уран и торий (табл. 6, анализ 15).

Ильменит. Ильменит является одним из основных минералов в составе тяжелой фракции мезокайнозойских пород. При детальном изучении химического состава его зерен (порядка 500 микрозондовых анализов) выделено несколько разновид-

Таблица 7. Химический (мас. %) и минеральный (%) состав ниобий-содержащих ильменитов (1–9), измененных разностей (10–13) и включения (14)

Оксид	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Nb ₂ O ₅	2.02	1.37	2.49	1.38	1.62	1.42	1.09	1.77	1.70	1.42	2.21	1.01	1.04	47.72
Ta ₂ O ₅	–	–	–	–	–	–	0.55	0.41	0.22	–	–	–	–	–
SiO ₂	0.54	–	0.27	0.20	0.26	0.10	–	–	–	0.37	0.39	0.88	1.80	0.54
ZrO ₂	–	–	0	0.11	–	–	–	–	–	–	0.15	0.18	0.14	–
TiO ₂	51.33	49.66	52.22	48.70	47.46	45.58	46.81	47.87	47.86	53.85	60.86	57.17	61.46	16.20
ThO ₂	–	–	–	–	–	–	0.17	0	0	–	–	–	–	–
Al ₂ O ₃	–	–	0.10	0.12	0.10	0.14	–	–	–	0.21	0.31	0.51	1.65	0.22
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0.04	0	0	0	0.05	0	0	0	0	0
V ₂ O ₅	0.28	0.33	–	0.38	–	–	0.43	0.25	0.34	0.21	0.62	0.44	0.59	–
FeO*	40.81	43.96	40.91	44.80	42.30	48.79	45.32	45.32	45.48	32.18	33.51	38.22	32.46	28.43
MnO	4.81	4.55	3.93	4.32	5.69	3.42	5.42	4.15	4.20	10.81	1.89	1.47	0.73	5.89
MgO	0.22	0.12	0.08	0	2.51	0.33	0.21	0.22	0.16	0.08	0.06	0.11	0.14	0.81
CaO	–	–	–	–	0.03	0	–	–	–	–	–	–	–	0.20
NiO	–	–	–	0	–	–	–	–	–	0	0	0	0	–
Сумма	100.01	99.99	100	100.01	100.01	99.78	100	99.99	100.01	99.13	100	100	100	100.01
FeTiO ₃	85.3	84.2	87.0	89.4	74.0	83.7	76.4	81.1	82.5	69.3	70.4	82.9	70.0	26.4
MgTiO ₃	0.7	0.4	0.3	0	8.5	1.1	0.7	0.7	0.5	0.3	0.2	0.5	0.6	2.5
MnTiO ₃	11.2	10.1	8.4	9.8	13.2	7.6	11.6	8.8	9.0	23.2	4.0	3.2	1.7	0.4
Fe(Nb,Ta) ₂ O ₆	1.0	0.7	1.3	0.7	0.9	0.8	1.3	2.0	2.0	1.0	1.5	0.6	0.6	58.9
Mn(Nb,Ta) ₂ O ₆	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.3	0	0	0	11.8
Fe ₂ O ₃	0	3.5	0	0	3.2	6.7	9.8	7.3	5.9	0	0	0	0	0
TiO ₂	1.7	1.0	2.9	0	0	0	0	0	0	5.9	23.9	12.8	27.1	0

ностей, одной из которых является ниобий-содержащий ильменит (содержание Nb₂O₅ превышает 1%), в котором присутствует также тантал. Такие ильмениты характерны для щелочных пород (например, Вишневых гор) [3]. Доля ильменитов с заметным присутствием ниобия в мезокайнозойских отложениях Вятско-Камской впадины оценивается в 1–2% общего количества его зерен.

Для этой разновидности отмечается повышенное содержание марганца (MnO до 10% и выше) и, соответственно, пирофанитового минала. Однако часть марганца наряду с ниобием и железом, по-видимому, входит в состав колумбитового компонента. Из элементов-примесей также характерны V и Zr. Очень редко в заметном количестве присутствует магний (доля пикроильменитового минала достигает 8.5%).

Среди зерен ниобий-содержащего ильменита значительная часть принадлежит измененным разностям, причем процесс их преобразования сопровождается появлением различных фаз. Такие минералы по внутреннему строению соответствуют твердому раствору либо гетерогенной минеральной смеси, либо представляют собой структуры замещения. Приведенные нами анализы (табл. 7) относятся к преобладающим по объему фазам. Наиболее характерен процесс лейкоксенизации, что наблюдается визуально в виде серых налетов и пленок на поверхности и отражается в данных микрозондового анализа избытком диоксида титана.

В процессе лейкоксенизации происходит последовательный переход к гидратированному ильмениту, для которого отношение Ti/(Ti + Fe) = 0.5–0.6 и далее – к псевдуриту (0.6–0.7) (табл. 7, анализы 10–13).

В одном из зерен ниобий-содержащего ильменита при изучении его под электронным микроскопом наблюдались игольчатые включения, микрозондовый анализ которых показал повышенное содержание Nb₂O₅ (табл. 7, анализ 14). Вероятно, их можно идентифицировать как колумбит-танталит, при этом присутствие TiO₂ в анализе объясняется небольшим размером включений: в зону анализа частично попало вещество вмещающего ильменита.

Ильменит в уральских магматических породах является широко распространенным минералом. Он становится одним из компонентов минеральной ассоциации тяжелой фракции верхнепермских галечников, гравелитов и песчаников, сформированных из продуктов разрушения этих пород. При размыве

верхнепермских пород мезозойскими водотоками на территории впадины ильменит переотлагался в осадки более молодого возраста.

Псевдобрукит. Псевдобрукит довольно широко распространен в составе тяжелой фракции мезокайнозойских отложений впадины. Ниобий-содержащие разности среди его зерен встречаются даже чаще, чем среди зерен ильменита. Слабоизмененные зерна имеют состав, близкий к теоретическому, о чем свидетельствует следующая кристаллохимическая формула одного из них: $(\text{Fe}_{0.894}\text{Mn}_{0.091}\text{Mg}_{0.003})_{0.988}(\text{Ti}_{1.894}\text{Si}_{0.045}\text{Al}_{0.045}\text{Nb}_{0.015}\text{V}_{0.015})_{2.014}\text{O}_5$. При этом содержание ниобия относительно невелико (табл. 7, анализ 12). Однако чаще обнаруживаются лейкоксенизированные индивиды. Например, кристаллохимическая формула зерна с наиболее высоким содержанием ниобия (Nb_2O_5 2.70 мас. %) — $(\text{Fe}_{0.803}\text{Mn}_{0.076}\text{Mg}_{0.005})_{0.884}(\text{Ti}_{2.030}\text{Nb}_{0.045}\text{V}_{0.015}\text{Si}_{0.015}\text{Al}_{0.015})_{2.120}\text{O}_5$ — отражает некоторый избыток титана.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Присутствие редкоземельных и тантал-ниобиевых минералов в мезокайнозойских отложениях Вятско-Камской впадины заслуживает интереса и специального изучения по нескольким причинам. Во-первых, специфический состав данной ассоциации минералов указывает на участие в питании обломочного материала мезозойских отложений Вятско-Камской впадины разнообразных пород и о существовании нескольких направлений сноса.

Выявление пород-первоисточников некоторых редкоземельных и тантал-ниобиевых минералов становится в настоящее время особенно актуальным в связи с прогнозированием и поисками кимберлитов в восточных районах Восточно-Европейской платформы. Ряд разновидностей описанных выше минералов характерен для кимберлитов (перовскит, рутил, магнезиальный ильменит). Например, в одном из зерен ниобий-содержащего ильменита содержание MgO превысило 2.5%. Дальнейшее изучение химического состава зерен этих минералов поможет решить вопрос о возможности их использования при прогнозно-поисковых работах на кимберлиты в пределах данной территории.

Другие минералы (флоренсит, гойяцит, бадделейт) обнаружены в алмазонасных россыпях Бразилии и Урала. Вряд ли это является случайным совпадением. Достаточно вспомнить, что эти две алмазонасные провинции характеризуются преобладанием особого типа округлых алмазов, происхождение которых не до конца ясно. Поиски коренных источников бразильских и уральских россыпных алмазов до сих пор не дали однозначного результата.

Основная часть рассмотренных выше минералов обычно приурочена к карбонатитовым породам. Для них типичны бадделейт, магнетит, апатит, кальцит, колумбит, диопсид, щелочные амфибо-

лы, слюды, доломит, сфен, хлориты, монацит, перовскит. Все перечисленные минералы обнаружены нами, в частности, в составе юрских отложений Вятско-Камской впадины.

Известно, что карбонатитовые комплексы необычны для Урала и Тимана, но широко распространены на Кольском полуострове и в Карелии. Снос обломочного материала с северо-запада вполне возможен, однако слабая окатанность зерен многих минералов и высокая их плотность, т.е. низкая миграционная способность, не позволяют считать это направление сноса единственным. Отсюда возникает предположение о возможности существования местных источников питания. Гипотетические карбонатитовые тела могут быть частью еще не установленных магматических комплексов щелочного ультраосновного типа где-то в восточных районах Восточно-Европейской платформы, в пределах которых вполне вероятно присутствие и тел кимберлитов.

В среднеюрских отложениях Вятско-Камской впадины к настоящему времени обнаружен весь набор классических минералов-спутников алмаза кимберлитового происхождения (хромистые пиропы, пикроильменит, высокохромистые хромшпинелиды, хромдиопсид) и найдены сами алмазы [10]. Мы считаем, что на данном этапе прогнозно-поисковых работ на коренные источники алмазов необходимо также учитывать присутствие и типоморфизм минералов карбонатитового происхождения.

Другой аспект связан с перспективами освоения минерально-сырьевой базы территории Вятско-Камской впадины. Сейчас она оценивается как потенциальный источник нефти и газа, строительных материалов, золота и платиноидов, алмазов и титаноциркониевых минералов. К этому списку теперь можно добавить редкоземельные и тантал-ниобиевые.

Одним из перспективных направлений расширения минерально-сырьевой базы региона мы считаем выявление и освоение комплексных месторождений нетрадиционного типа. Среди них можно выделить две группы: 1) золото-гравийные месторождения с попутным извлечением других полезных минералов и 2) месторождения песчано-гравийных строительных материалов с попутным извлечением золота и платиноидов, а также, по возможности, титано-циркониевых, редкоземельных и тантал-ниобиевых минералов.

По результатам исследований сотрудников Пермского университета на небольших отрезках долин водотоков 2-3-го порядков (верховья таких рек, как Кодзь, Янчер, Лолог, Кужва, Вурлам, Черная и др.) среднее содержание золота в русловых отложениях может достигнуть 200 мг/м³. Содержание платиноидов обычно на порядок меньше. При обогащении россыпей можно получить золото-платиновый концентрат, богатый минералами Zr, Ti, TR, Nb, Ta, Th, Sn. Для повышения рентабельности разработки россыпей крупнообломоч-

ный материал руслового аллювия необходимо использовать в строительных целях.

Необходимость решения проблемы комплексной разработки песчано-гравийных месторождений сотрудники Пермского университета подчеркивают, начиная с 60-х годов прошлого века [9]. Автором статьи на привлекательность именно территории Вятско-Камской впадины для этих целей впервые было указано в 80-х годах [16]. Особенно актуальной идея комплексной разработки песчано-гравийных месторождений в данном районе становится в настоящее время в связи с предстоящим строительством железной дороги Соликамск – Архангельск. Для укладки полотна дороги потребуется большое количество песчано-гравийной смеси. Отработка технологии комплексной разработки месторождений строительного сырья в условиях длительного функционирования предприятия будет полезной и для других регионов.

Комплексная разработка месторождений строительного сырья должна включать технологии получения классифицированного гравия, строительного песка и коллективного концентрата тяжелых минералов. Расчеты показывают, что в конечном коллективном концентрате содержания полезных минералов могут составить (%): ильменита – 50–60, циркона – 5–8, лейкоксена – 3–5, рутила – 3–5, монацита – 0.1–0.2. Более редкими, но наиболее важными полезными компонентами в нем будут золото, содержание которого в концентрате составит до 10 г/т и более, и платиноиды (до 1 г/т). В составе концентрата в заметном количестве будут находиться и другие полезные минералы: ильменорутит, касситерит, бадделлит, тантало-ниобаты, анатаз, брукит. Для получения 1 т коллективного концентрата потребуется обработать несколько сот кубометров исходной песчано-гравийной смеси. При доводке такого концентрата, помимо золото-платинового продукта, можно получить кондиционные селективные концентраты (ильменитовый, цирконовый, рутиловый, монацитовый, ставролитовый).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мезокайнозойские отложения Вятско-Камской впадины в последние годы привлекают особое внимание в связи с обнаружением здесь золота, платиноидов и мелких алмазов. Присутствие в этих же отложениях минералов-спутников алмаза (пиропов, пикроильменита, высокохромистых хромшпинелидов, хромдиопсидов) дало основание для проведения прогнозно-поисковых работ на кимберлиты. С этой целью применена методика малообъемного опробования с отбором и обогащением проб объемом 1 м³. При детальном минералогическом изучении концентратов, полученных при обогащении обломочного материала на винтовом сепараторе, обнаружены минералы редких зе-

мель (монацит, флоренсит, гойяцит, ортит, перовскит), ниобия и тантала (ильменорутит, колумбит-танталит, лопарит, ниобиевый ильменит и псевдобрукит, тантало-рутил).

Некоторые разности указанных выше минералов (ильменита, рутила, перовскита) являются типичными компонентами кимберлитов. Многие из этих минералов обычно связаны с карбонатитовыми комплексами пород. Это подтверждается находками в тех же концентратах типоморфных минералов карбонатитов – кальцитита и бадделлита.

Дальнейшее изучение редкоземельной и тантал-ниобиевой минерализации в мезокайнозойских отложениях Вятско-Камской впадины рекомендуется продолжить в двух направлениях. Во-первых, при проведении прогнозно-поисковых работ на алмазоносные кимберлиты необходимо учитывать также присутствие и типоморфизм индикаторных минералов карбонатитов. При этом возможно обнаружение в восточных районах Восточно-Европейской платформы комплексов щелочных ультраосновных пород, среди которых могут находиться и кимберлитовые тела. Во-вторых, присутствие многих полезных минералов (особенно золота, платиноидов, циркона, рутила, ильменита, лейкоксена, монацита, касситерита, бадделлита) в грубообломочных отложениях мезозоя и кайнозоя на данной территории создает благоприятные перспективы для освоения комплексных месторождений нетрадиционного типа (например, золото-гравийных) и отработки соответствующей технологии.

Работы выполняются при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант РФФИ 07–05–96007).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дедеев В.А., Молин В.А., Розанов В.И. Юрская песчаная толща Европейского севера России. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1997. 75 с.
2. Дир У.А., Хауи Р.А., Зусман Д. Породообразующие минералы. Т. 5. М.: Мир, 1966. 408 с.
3. Еськова Е.М., Жабин А.Г., Мухитдинов Г.Н. Минералогия и геохимия редких элементов Вишневых гор. М.: Наука, 1964. 320 с.
4. Жарков В.А., Швецова И.В. Крупнокристаллический монацит из кайнозойских отложений в районе ручья Вадьявож (Немская возвышенность, Южный Тиман) // Тр. ИГ Коми НЦ УрО РАН. 1999. № 101. С. 172–178.
5. Капустин Ю.Л. Особенности распределения титана, ниобия и тантала в породах и минералах карбонатитовых комплексов // Докл. АН СССР. 1986. Т. 288, № 5. С. 1204–1209.
6. Козлов А.А., Петрухин В.А., Семенов Г.С., Францесон Е.В. Редкие и радиоактивные элементы в акцессорных перовскитах из кимберлитов Западной Якутии // Геохимия. 1984. № 11. С. 1684–1688.
7. Колонин Г.Р., Бобров В.А., Колмогоров Ю.П. и др. Спектры РЗЭ в монаците как возможный индикатор

- физико-химических особенностей в геохимических процессах // Рудные месторождения: вопросы происхождения и эволюции. Мат-лы I Уральского металлогенического совещ. Миасс: ИМин УрО РАН, 2005. С. 26–29.
8. Кориневский В.Г. Новая разновидность монацита из жильных доскладчатых гранитов Ильменских гор // Уральский минералогический сборник. № 11. Миасс: ИМин УрО РАН, 2001. С. 31–37.
 9. Лунев Б.С. Дифференциация осадков в современном аллювии. Пермь: Пермский госуниверситет, 1967. 334 с.
 10. Мелкие алмазы и минералы-спутники в юрских отложениях Вятско-Камской впадины / Ред. Б.М. Осовецкий. Пермь: Пермский госуниверситет, 2008. 212 с.
 11. Минералы-спутники алмаза в мезокайнозойских отложениях Кировской области / Ред. Б.М. Осовецкий. Пермь: Пермский госуниверситет, 2007. 208 с.
 12. Морозов Г.Г., Осовецкий Б.М., Накарякова И.Р. и др. Первые находки алмазов на территории платформенной части Пермского края // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь. Пермский госуниверситет, 2006. С. 6–8.
 13. Морозов Г.Г., Осовецкий Б.М., Накарякова И.Р. и др. Алмазоносность отложений мезокайнозоя на территории платформенной части Пермского края // Вестник Пермского университета. Геология. 2007. Вып. 4 (9). С. 49–59.
 14. Наумов В.А., Илалтдинов И.Я., Осовецкий Б.М. и др. Золото Верхнекамской впадины. Кудымкар: Коми-Пермяцкое кн. изд-во, 2003. 218 с.
 15. Осовецкий Б.М. Питающие и терригенно-минералогические провинции современного аллювия Прикамья // Геология и петрография Западного Урала. Вып. 5. Пермь. Пермский гос-университет. 1970. С. 91–108.
 16. Осовецкий Б.М. Перспективы обнаружения комплексных россыпей на севере Прикамья // Комплексная оценка аллювия как строительного материала, мелких ценных минералов и основания инженерных сооружений. Тез. докл. Пермь: Изд. 1987. С. 31.
 17. Осовецкий Б.М. Типохимизм шлиховых минералов. Пермь: Пермский госуниверситет, 2001. 244 с.
 18. Осовецкий Б.М. Эволюция мезозойского осадконакопления на территории Вятско-Камской впадины и проблемы алмазоносности // Типы седиментогенеза и литогенеза и их эволюция в истории Земли. Мат-лы 5-го Всерос. литолог. совещ. Т. II. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2008. С. 131–133.
 19. Осовецкий Б.М. К вопросу об алмазоносности нижнетриасовых пород Вятско-Камской впадины // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь: Пермский гос-университет. 2009. С. 90–92.
 20. Поляков В.О., Баженова Л.Ф. К минералогии акцессорных редкоземельных фосфатов Ильменских гор // Минералогические исследования эндогенных месторождений Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1982. С. 37–43.
 21. Семенов Е.И. Минералогия редких земель. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 412 с.
 22. Чайковский И.И. Редкоземельные алюмофосфаты из алмазоносных месторождений Урало-Тиманской провинции // Записки ВМО. 2003. № 1. С. 101–109.
 23. Швецова И.В. Апатит и монацит в бокситоносных корках выветривания на Среднем Тимане // Тр. ИГ Коми НЦ УрО РАН. 1994. № 83. С. 93–101.
 24. Campbell L.S., Henderson P., Wall F. Rare earth chemistry of perovskite group minerals from the Gardiner Complex, East Greenland // Miner. Mag. 1997. V. 61, № 2. P. 197–212.
 25. Chakhmouradian A.R., Mitchell R.H. Lueshite, pyrochlore and monazite-(Ce) from apatite-dolomite carbonate, Lesnaya Varaka complex, Kola Peninsula, Russia // Miner. Mag. 1998. V. 62, № 6. P. 769–782.
 26. Mitchell R.H., Reed S.J.B. Ion microprobe determination of rare earth elements in perovskite from kimberlites and alnöites // Miner. Mag. 1988. V. 52, № 3. P. 331–339.
 27. Read D., Cooper D.C., Arthur J.M. The composition and distribution of nodular monazite in the Lower Palaeozoic rocks of Great Britain // Miner. Mag. 1987. V. 51, № 2. P. 271–280.
 28. Watt G.R. High-thorium monazite-(Ce) formed during disequilibrium melting of metapelites under granulite-facies conditions // Miner. Mag. 1995. V. 59, № 4. P. 735–743.

Рецензент И.Л. Недосекова

Rare earth elements and tantal-niobium mineralization in Mesozoic-Cenozoic deposits of Vjatka-Kama Depression

B. M. Osovetskiy

Perm State University

Some results of detail investigation of heavy fraction mineral composition in Mesozoic-Cenozoic deposits of Vjatka-Kama Depression are presented. They were found during prognosis works on diamonds. Broad spreading of REE and tantalum-niobium mineralization is revealed in these deposits. Mineralogical characteristics of main minerals containing of such elements (monazite, florencite, loparite, perovskite, orthite, ilmenorutile, Ta-rutile, columbite-tantalite, Nb-ilmenite and Nb-pseudobrookite) is generalized. Role of such minerals as indicators of source rocks of the Mesozoic diamondiferous deposits is examined as well as the problems of complex sandy-gravel deposits prospecting are discussed.

Key words: Mesozoic and Cenozoic, Vjatka-Kama Depression, REE mineralization, tantal-niobium minerals, microprobe analysis, source rocks, complex deposits.