

К ВОПРОСУ О КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКАХ ТИТАН-ЦИРКОНИЕВЫХ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВЕРХНЕГО МЕЛА ВОРОНЕЖСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ

В. М. Ненахов, Г. С. Золотарева

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 1 марта 2010 г.

Аннотация. На основании анализа распространенности главных породных ассоциаций кристаллического фундамента и содержаний в них минералов, образующих россыпи, а также анализа минеральных ассоциаций, возраста и геохимических характеристик цирконов россыпных объектов приводятся доказательства существования источников рудного вещества россыпей за счет докембрийских комплексов Воронежского кристаллического массива.

Ключевые слова: коренной источник, промежуточный коллектор, россыпь, ильменит, циркон, минеральные ассоциации.

Abstract. On the basis of the analysis prevalence of the main rock associations of the crystal base and the contents in them of the minerals, forming placer, the analysis of mineral associations also age and geochemical characteristics of the zircon furnished proofs about sources of ore substance of the placer for the account Precambrian complexes of the Voronezh crystal massif.

Key words: mather rock, an intermediate collector, a placer, ilmenit, zircon, mineral associations

Решение задачи установления коренных источников сноса для Ti-Zr россыпей является важнейшим фундаментальным и прикладным аспектом изучения россыпных объектов, способствующим в значительной степени объективной оценке их ресурсного потенциала. Для россыпей Воронежской антеклизы (ВА) указанная проблема далеко не однозначна. Особенностью наиболее продуктивных россыпей сеномана и сантона Тамбовской области (Рассказовский район) является то, что они образовались за счет промежуточных коллекторов осадочного чехла и прямой связи с выступами кристаллического фундамента не обнаруживают. Как указывает Патык-Кара с соавторами [1], согласно палеогеографическим схемам «можно было бы ожидать унаследованность состава минеральных парагенезисов сеноманских россыпей от более древних россыпных формаций, в частности от юрской россыпной формации Среднего Поволжья, характеризующейся повышенным содержанием хрома, и располагающихся западнее россыпей Рязано-Скопинской зоны и Орловско-Тамбовского свода с высоким содержанием ставролита. Однако

такие признаки отсутствуют...». Это дает основание считать, что источником рудных минералов для указанных россыпей являются достаточно удаленные структуры, в частности, пермские породы, развитые в северной части суши на момент формирования россыпей сеномана [1, с. 599]. Вышесказанное ставит нас перед необходимостью вновь вернуться к оценке вклада пород ВКМ в рудный потенциал россыпей сеномана и сантона ВА.

Большой вклад в изучение россыпей ВА внесен целой плеядой известных исследователей [2–4], хотя необходимо отметить, что вопрос о коренных источниках россыпей ими практически не затрагивался.

Для оценки вклада пород кристаллического фундамента необходимо, прежде всего, учесть распространенность и потенциальную продуктивность главных СВК кристаллического фундамента ВА, которые представлены в таблице.

Наиболее распространенным типом кристаллических пород докембрия являются разнообразные гнейсы и плагиограниты раннеархейского обоянского комплекса, на долю которого приходится ~53,0 % площади выходов кристаллических пород, перекрытых осадочным чехлом. С учетом распространенности позднеархейских гранитоидов атамановского и салтыковского комплексов

Акцессорные минеральные ассоциации и распространенность главных СВК ВКМ – коренных источников

№ п/п	Возраст СВК	Распространенность по площади (%)	Название комплекса	Минеральные ассоциации (в индексах)	Количество ведущих полезных компонентов (г/т)	Привязка (авторские пробы) или литературный источник
1	Палеопротерозойские СВК	0,7	Смородинский	Mgt, Timgt, Ilm	Zrn – 9; Ilm – 13300	Альбеков, 2002
2			Новогольский	Po, Ccp, Py, Pn, Kub, Mgt, Timgt, Ilm	Zrn – 5; Ilm – 12000	Альбеков, 2002
3		0,5	Мамонский и еланский	Mgt, Ilm, Rt, Hspl, Po, Pn, Ccp, Ap, Spl, Zrn	Zrn – 5; Ilm – от 6000 до 18000	скв. 8109; скв. 8424; Плаксенко А. Н., 1981
4		0,3	Стойло-николаевский	Mgt, Ort, Ap,	Zrn – 110; Ilm – 10	Лосицкий и др., 1999
5		~ 0,1	Бобровский	Zrn, Mnz, Rt, Ilm, Tur, Ap, Leic, Grt	Zrn – 60–65; Ilm – до 2350	скв. 0162
6		< 0,1	Артюшковский	Mnz, Py, Ccp, Ap, Zrn, Ep, Grt, Ort	Zrn – 84; Ilm – 5	скв. 8005
7		< 0,1	Лискинский	Mnz, Zrn, Mgt, Ilm, Leic,	Zrn – 200; Ilm – 10	скв. 6
8		3,2	Усманский	St, Ep, Ap, Zrn, Mgt,	Zrn – 120; Ilm – 20	скв. 0152
9		2,8	Павловский	Apy, Py, Ccp, Ap, St, Leic, Mnz, Hspl, Ilm	Zrn – 162; Ilm – 120	ПК; Ильяш, Звонарев, 2001; Египко, 1971
10		3,1	Воронежская свита	Py, Zrn, Mgt	Zrn – 88; Ilm – 100	скв. 7755
11		6,3	Лосевская серия	Rt, Mgt, Ilm, Zrn	Zrn – 15; Ilm – 15	скв. 0150
12		17,0	Воронцовская серия	Mgt, Py, Sil, Ap, Tur, Grt, Zrn	Zrn – 75; Ilm – 25	скв. 7159; скв. 3050
13		1,6	Оскольская серия	Mgt, Hem, Ap, Zrn, Tur, Ilm, St	Zrn – 20–25; Ilm – 3	Ильяш, 1977
14		1,6	Курская серия	Ap, Zrn, St, Tur, Ilm	Zrn – 37,7; Ilm – 1,7	Ильяш, 1977
15	Архейские СВК	2,1	Атамановский	Zrn, Ort, Mgt, Ilm, Spl, Ap, Grn	Zrn – 60; Ilm – 50–70	Лосицкий и др., 1999
16		3,8	Салтыковский	Zrn, Spl, Ap, Ilm, Mgt, Leic, Ep	Zrn – 100; Ilm – 20–30	Лосицкий и др., 1999
17		4,2	Михайловская серия	Ilm, Rt, Leic, Hspl, Zrn, Spn, Ap, Tur, St	Zrn – 31,6; Ilm – 263	Ильяш, 1977
18		52,9	Обоянский	Ap, Zrn, Mnz, Grt	Zrn – 335; Ilm – нет	скв. 7626/3; скв. стГРТ/225; Ильяш, 1977

Примечание. Условные сокращения минералов по [5]: Ap – апатит, Apy – арсенопирит, Ccp – халькопирит, Ep – эпидот, Grt – гранат, Hem – гематит, Hspl – хромшпинель, Ilm – ильменит, Kub – кубанит, Leic – лейкоксен, Mgt – магнетит, Mnz – монацит, Ort – ортит, Pn – пентландин, Po – пирротин, Py – пироп, Rt – рутил, Spl – шпинель, St – ставролит, Timgt – титаномагнетит, Tur – турмалин, Zrn – циркон, Sil – силлиманит

(~ 6,0 %), а также метаморфитов михайловской серии (~ 4,2 %) доля архейских пород с возрастом > 2,5 млрд лет составляет более 63,0 %. Распространенность палеопротерозойского воронцовского метаморфического комплекса (17,0 %) в совокупности с раннепротерозойскими гранитоидами (усманского, павловского, стойло-николаевского, бобровского, осколецкого, малиновского комплексов (9,5 %)) и мафит-ультрамафитами (мамонского и еланского комплексов), а также с породами лосевской серии (6,3 %), составляет около 33,0 % площади докембрия. Пик возрастных интервалов цирконов из перечисленных комплексов приходится на интервал 2,1–2,0 млрд лет. В этой связи логично было бы предположить, что доминирующий вклад в россыпеобразование был внесен обоянским комплексом – поставщиком циркона и ильменита (в составе обоянского комплекса до 30,0 % от его объема приходится на ортоамфиболиты). Однако изучение возрастных характеристик цирконов из россыпей Воронежской антеклизы [6, 7] показывает, что доминирующими являются цирконы, возраст которых укладывается в интервал 1,5–2,0 млрд лет.

Исходя из указанной распространенности архейских и палеопротерозойских комплексов, в россыпях должны доминировать цирконы с возрастом > 2,5 млрд лет. Диапазон возрастов детритовых цирконов россыпей колеблется от 0,35 до 3,0 млрд лет. Пик возрастов так называемых ортомагматических цирконов хорошо выражен на всех возрастных уровнях россыпей, соответствует пику коренных пород и отвечает временному интервалу 1,5–2,0 млрд лет (верхний карелий). Последнее обстоятельство, с одной стороны, доказывает, что полезные компоненты россыпей формировались за счет коренных источников Воронежского кристаллического массива (ВКМ), а с другой – ставит вопрос о причинах несоответствия количественных долей более «молодых» цирконов в россыпях площадям выходов пород основания ВА. Это может быть связано с тем, что наиболее масштабно тектоно-магматическая активизация, отразившаяся на более древних породах, проявилась в возрастном интервале 1,8–2,1 млрд лет, т. е. на уровне верхнего карелия, что коррелируется с возрастным пиком цирконов россыпей как на Украинском щите (УЩ), так и на ВА [7]. Вторым важнейшим обстоятельством является степень размытия дофанерозойского субстрата. Палеопротерозойские комплексы слагают более значительные площади, по сравнению с

современными, образуя «чехольный» структурный этаж архейских кратонов, залегающий гипсометрически выше архея. Размыв палеопротерозойского этажа объясняет более молодой возраст доминирующих цирконов.

Потенциальная продуктивность главных, наиболее распространенных СВК докембрия (табл.) была изучена практически по всем комплексам докембрия с привлечением данных из более ранних публикаций [8–14].

Из таблицы, в которой приведены средние содержания циркона и ильменита в кристаллических породах ВКМ, следует, что наиболее потенциально продуктивными на циркон, с учетом площади выходов и первичных содержаний, являются обоянский комплекс, а также, в меньшей степени, гранитоиды павловского, атамановского и салтыковского комплексов.

Характерно, что в гнейсах обоянского комплекса ильменит не установлен, в то же время, как уже отмечалось, в комплексе до 30,0 % объема занимают амфиболиты, продуктивность которых в этом отношении высока, хотя еще недостаточно изучена. Образования михайловской серии (различные гнейсы и метапесчаники) содержат в повышенных количествах ильменит, рутил, лейкоксен и титанит. Наибольшие содержания (до 671 г/т) имеют метапесчаники михайловской серии, где ильменит представлен толсто-таблитчатыми, реже ромбоэдрическими кристаллами, а также уплощенными зернами. Курская и оскольская серии характеризуются очень низкими концентрациями ильменита (2–5 г/т).

Таким образом, главным продуцентом для россыпей по циркону должен являться значительно «омоложенный» в палеопротерозое архейский метаморфический обоянский комплекс и СВК верхнего карелия, в значительной степени денудированные в более позднее время, а по ильмениту – еланский, мамонский, смородинский и новогольский комплексы и, возможно, амфиболиты обоянского комплекса.

Анализ минеральных ассоциаций россыпей ВА [1–4] начиная с девона (ястребовский горизонт) и заканчивая россыпными объектами сеномана и сантона позволяет установить следующие закономерности.

1. Набор главных рудных минералов постоянен и меняется только их соотношение, причем количество сопутствующих минералов (дистен, гранат, силлиманит, ставролит, турмалин, эпидот) закономерно снижается в россыпях дальнего переноса.

Вышесказанное позволяет говорить о том, что минеральные ассоциации могут служить критерием установления первичных источников сноса лишь в первом приближении, в совокупности с тонкими исследованиями главных рудных компонентов.

2. Соотношение главных рудных минералов россыпей (ильменита и циркона) меняется в россыпях относительно ближнего и дальнего переноса соответственно от 2÷1 (барремские и аптские отложения) до 5÷1 (сеноман) и даже 10÷1 (сантон).

3. Отмечается закономерное снижение содержания лейкоксона от россыпей ближнего переноса к россыпям дальнего. Так, если его содержание в ястребовских россыпях составляет до 9 %, в барремских и аптских колеблется от 10 до 20 %, то его содержание в сеноманских и сантонских россыпных колеблется от 3 до 5 %. Подобные закономерности характерны и для апатита.

4. Заметные содержания хромшпинелидов отмечаются только в россыпях ястребовского горизонта,

а уже для россыпей петинского горизонта он не характерен.

Важнейшим коррелятивным признаком в системе «коренной источник (КИ) – промежуточный коллектор (ПК) – россыпь (Р)» является типоморфизм и типохимизм циркона. Типоморфизм при переносе циркона в гипергенных условиях в значительной степени теряет свою однозначность, поэтому следует особое внимание уделить его типохимизму.

Типохимизм цирконов коренных источников изучен по главным минералообразующим компонентам (Zr, Hf, SiO₂) наиболее распространенных СВК кристаллического фундамента.

Фигуративные точки цирконов из кристаллических пород в координатах SiO₂-Zr/Hf (рис. 1) группируются достаточно компактно, обнаруживая четко выраженный тренд увеличения Zr/Hf отношения при незначительном увеличении SiO₂ (коэффициент корреляции SiO₂-Zr/Hf в выборке из 89 анализов при 5 % уровне значимости составляет 0,81).

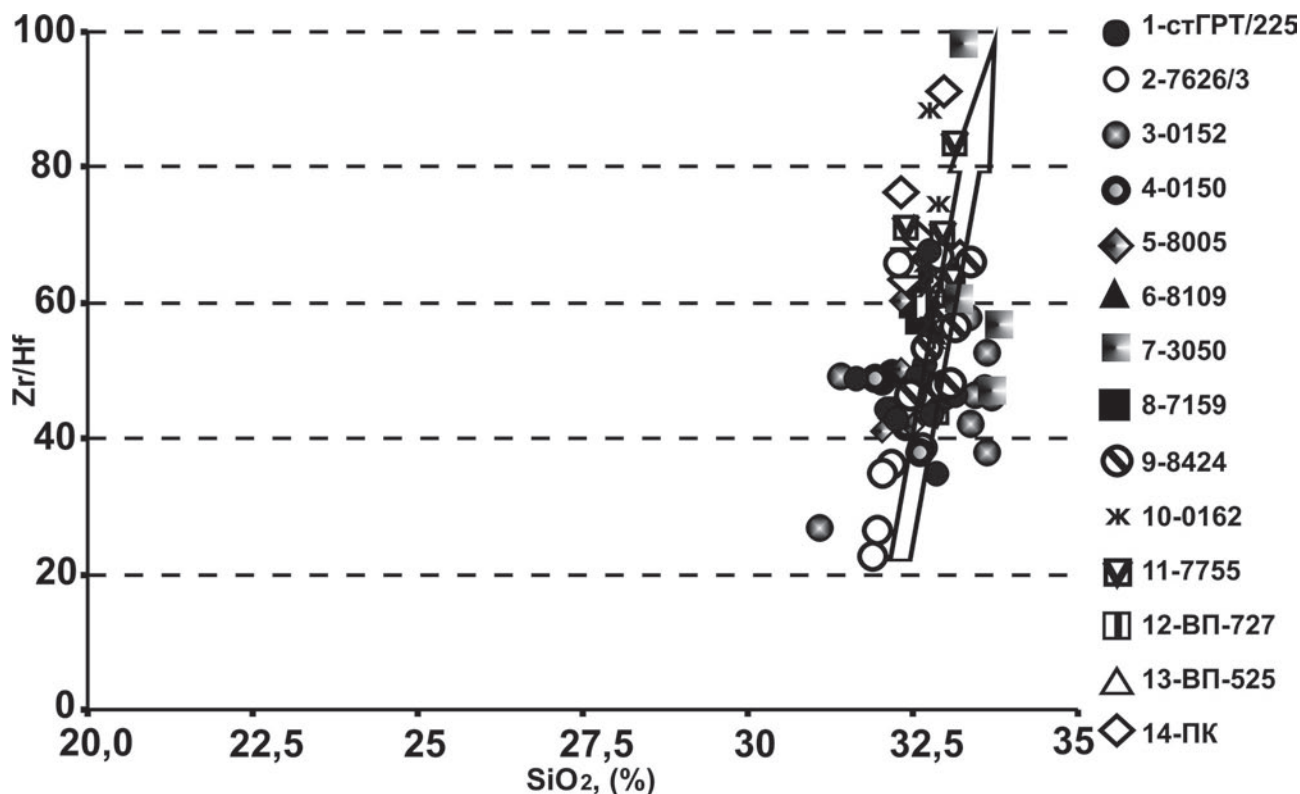


Рис. 1. Фигуративные точки цирконов из кристаллических пород в координатах SiO₂-Zr/Hf. 1–13 – метаморфические и магматические комплексы: 1 – обоянский, росошанский тип; 2 – обоянский, нерасчлененный тип; 3 – усманский; 4 – лосевская серия; 5 – артюшковский; 6 – мамонский (Елань-Коленовский массив); 7 – воронцовский, метапесчаники; 8 – воронцовский, гнейс; 9 – еланский (Елkinский массив); 10 – бобровский (Коршевский массив); 11 – байгоровский вулcano-плутанический; 12–13 – новомеловатский (Новомеловатский массив): 12 – габбродиориты; 13 – гранодиориты; 14 – павловский (Павловский массив)

Изменение содержаний SiO_2 в цирконах составляет всего 2 % (от 31,5 до 33,5 %), при этом диапазон колебаний Zr/Hf отношений составляет от 22,0 до 90,0 и более. Основное количество фигуративных точек Zr/Hf отношений образует еще более компактное сгущение в диапазоне 30,0–80,0, а единичные отклонения от сгущения в сторону понижения характерны для плагиогнейсов обоянского комплекса, а в сторону повышения – для метапесчаников воронцовской серии, бобровского, павловского гранитоидных комплексов и байгоровских вулканитов.

Направление тренда отражает общую тенденцию изменения состава цирконов в магматических

породах и связано с увеличением доли Zr относительно Hf в более кислой минералообразующей среде. При этом увеличение содержаний кремнезема в кристаллической решетке циркона происходит незначительно.

Типохимизм цирконов из промежуточных коллекторов и россыпей на первый взгляд значительно отличается от типохимизма цирконов коренных источников. Фигуративные точки цирконов в координатах SiO_2 -Zr/Hf (рис. 2) группируются компактно, при содержаниях SiO_2 31,5–33,0 % образуя ярко выраженное сгущение.

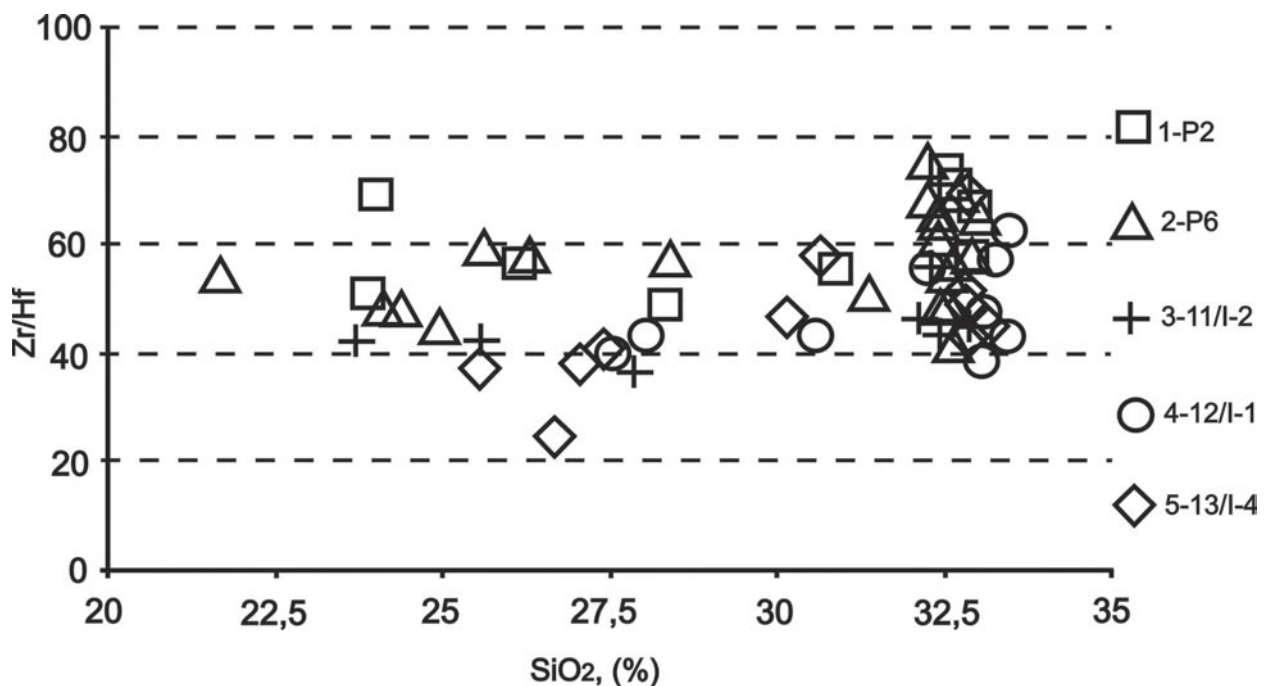


Рис. 2. Фигуративные точки цирконов из промежуточных коллекторов и россыпей в координатах SiO_2 -Zr/Hf: 1 – ястребовский горизонт; 2 – петинский горизонт; 3–5 – россыпи: 3 – «Центральная»; 4 – «Кирсановская»; 5 – «Высоконовская»

Диапазон колебаний Zr/Hf отношений при этом изменяется от 38,0 до 78,0. Приблизительно 40,0 % цирконов на диаграмме обнаруживают значительный разброс содержаний SiO_2 от 22,0 до 31,0 %, при этом диапазон колебаний большинства значений Zr/Hf отношений сужается и находится в районе 38,0–60,0. Коэффициент корреляции SiO_2 -Zr/Hf в целом по выборке из 32 анализов при 5 % уровне значимости заметно ниже, чем этот показатель в коренных породах, и составляет 0,5. Как показали наши исследования для павловских гранитоидов и коры выветривания по ним [6, 15], такое поведение SiO_2 характерно для цирконов, подвергшихся процессам циртолитизации в коре вывет-

ривания. Этому процессу, прежде всего, подвергаются цирконы с дефектной кристаллической решеткой. Степень ее дефектности зависит от количества элементов – примесей (U, Th, Y, REE, Ca и др.). При замещении циркония или гафния указанными элементами могут освобождаться положительные валентные связи, которые компенсируются гидроксильной группой OH. Параллельно за счет перераспределения могут освобождаться и отрицательные связи кремнекислородного тетраэдра SiO_4^{-4} , в результате чего прочная кристаллическая решетка «расшатывается» и повышается ее связывающая способность, при этом в нее могут входить свободные катионы. Это подтверждается

тем, что более гидратированные циртолиты содержат в несколько раз больше элементов – примесей, чем циртолиты начальных стадий разложения.

Таким образом, циркон с измененным типохимизмом характерен уже на стадии корообразования и при последующем его переотложении сохраняется как в россыпях ближнего, так и дальнего переноса.

В процессе формирования россыпей важнейшим фактором, как уже неоднократно отмечалось [16, 17 и др.], является корообразование, накладывающееся на материнские породы – продуценты и последующие условия транспортировки.

Из девяти эпох корообразования, имеющих непосредственное влияние на россыпеобразование, важнейшими представляются позднерифейская, предверхнедевонская, ранне- и среднекаменноугольная, а также поздне триас-раннеюрская и раннемеловая.

Анализ продолжительности и размаха эпох корообразования позволяет сделать вывод о том, что главным продуцентом являлся субстрат, образованный в результате суммарного эффекта среднекаменноугольного и поздне триас-раннеюрского (промежуточные коллектора, полностью перемыты в последующее время), а также неокон-аптского (промежуточный коллектор, сохранился в достаточно представительном виде) этапов россыпеобразования. Сенноманские наиболее продуктивные россыпи являются результатом перемыыва промежуточных коллекторов карбона, юры и раннего мела.

Анализируя литолого-фациальные карты для эпох, продуктивных в отношении промежуточных коллекторов и россыпей, все исследователи [1, 10, 16–19] сходятся в одном мнении – а именно: все продуктивные россыпные объекты сформировались в обстановках мелководных бассейнов прибрежно-морской зоны.

Анализ промежуточных коллекторов и россыпей девона и мела позволяет сделать вывод о решающем для россыпеобразования факторе «промывочного лотка», суть которого заключается в следующем. В позднедевонское время трансгрессия реализовывалась с северо-востока, со стороны Пачелмского авлакогена, где отмечаются и наибольшие погружения. Снос в это время происходил в обратном направлении, т. е. на северо-восток. Размыв в это время охватывал значительную (от 40,0 до 80,0 %) часть территории ВКМ, накопление же полезных компонентов происходило в прибрежной зоне (в зоне относительно длительной стабилизации береговой линии), прилегающей к осевой части выступа кристаллических пород. В послесреднека-

менноугольное время направление трансгрессии меняется на противоположное и реализуется она со стороны ДДВ. При этом центральная осевая часть ВКМ, сложенная кристаллическими породами, и северо-восточное крыло антеклизы, сложенное девонскими отложениями с участками обогащения полезными компонентами, в визе и башкирское время подвергались интенсивным процессам корообразования с последующим поднятием, размывом и переносом материала в юго-западном направлении. Область максимального поднятия, совпадающая с осевой частью ВКМ, сохранявшаяся в девоне, карбоне и вплоть до аптского времени представляла собой барьер, вдоль которого происходило длительное накопление полезных компонентов, усиленное триас-юрской эпохой корообразования и сносом в это время с Тульско-Саратовского выступа. Максимальный ресурсный потенциал окончательно сформировался за счет перемыыва (рециклинга) промежуточных коллекторов девона, карбона, позднего триаса – юры и раннего мела в сенноманское время. Модель «рециклинга россыпеобразования» показана на рис. 3.

Выводы

Ресурсный потенциал россыпей Воронежской антеклизы формировался за счет коренных источников (материнского субстрата ВКМ) под влиянием корообразующих процессов, проявленных в 9 этапов, из которых важнейшая роль отведена раннесреднекаменноугольной и раннемезозойской эпохам корообразования. Этот вывод подтверждается близкими типохимическими особенностями цирконов коренных источников и россыпей (в том числе промежуточных коллекторов) ВА, доминирующими палеопротерозойскими возрастными характеристиками цирконов из россыпных объектов мезозоя, а также отсутствием типоморфных минералов тяжелой фракции, характерных для возможных соседних россыпных провинций Среднего Поволжья, что несколько противоречит выводам, сделанным ранее [1], о формировании ресурсного потенциала сенноманских россыпей за счет размыва пермских пород, распространенных к северо-востоку.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы» по теме «Исследование геохимии цирконов в системе коренной источник – кора – выветривание – россыпь в целях пересмотра ресурсного потенциала россыпей Воронежской антеклизы»

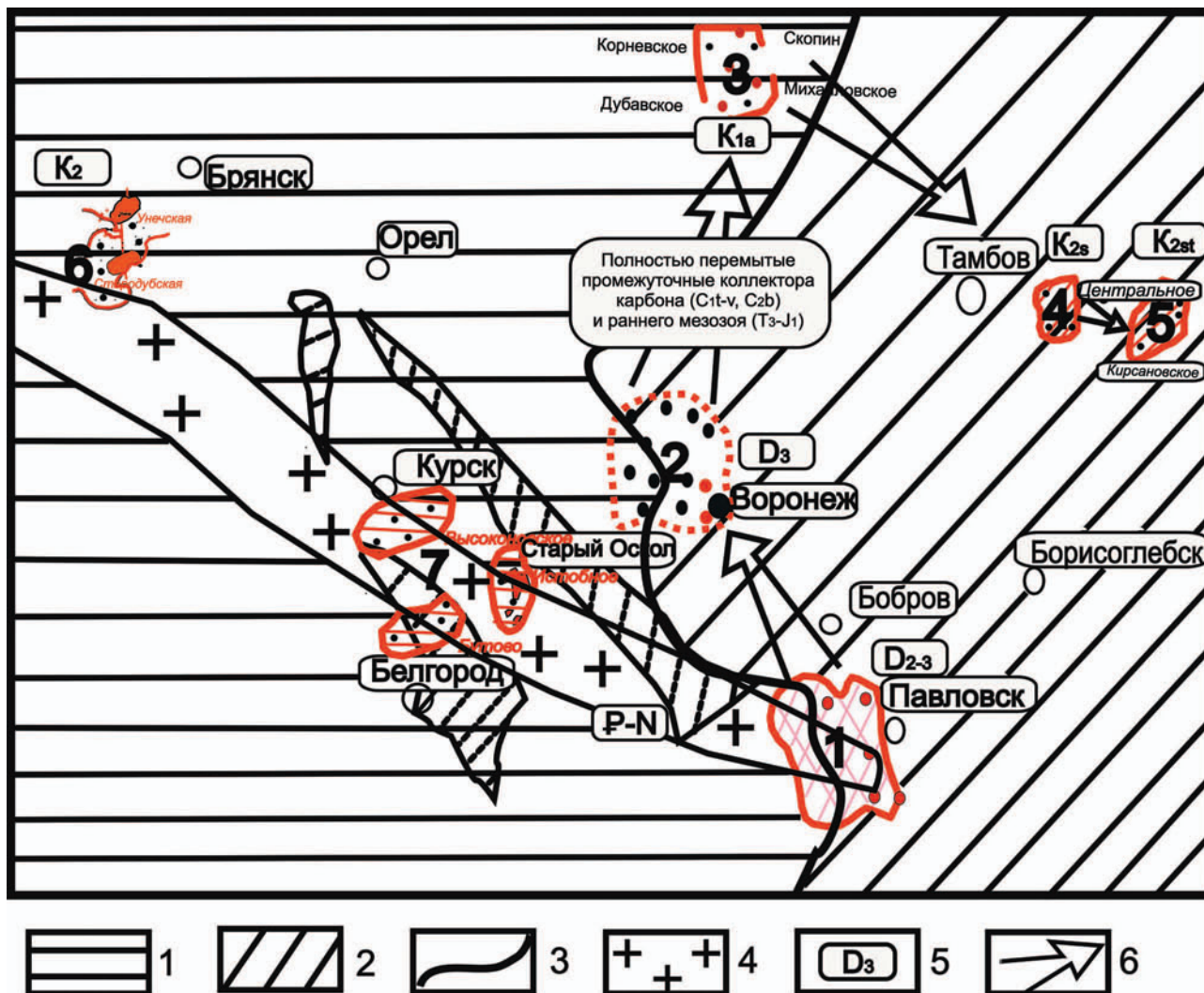


Рис. 3. Схема рециклинга россыпных объектов россыпеобразования для фанерозоя: 1–2 – кристаллический фундамент: 1 – архейский, 2 – палеопротерозойский; 3 – шовная зона, отделяющая доминирующие архейский и палеопротерозойский субстраты; 4 – выступ кристаллического основания, выходящий на дневную поверхность в раннемеловое время, 5 – россыпные объекты и их возраст: 1 – Павловские (ястребовский горизонт), 2 – Семилукские (петинский горизонт), 3 – Скопинской группы, 4–7 – россыпи: 4 – Центральная, 5 – Кирсановская, 6 – Унечская, 7 – Белгородской группы, 6 – направление условного сноса

ЛИТЕРАТУРА

1. Патык-Кара Н. Г. К истории формирования титано-циркониевых песков месторождения Центральное в европейской части России / Н. Г. Патык-Кара, Н. В. Гореликова, Е. Г. Бардеева // Литология и полез. ископаемые. – 2004. – № 6. – С. 451–465.

2. Беляев В. И. Продуктивные титан-циркониевые формации фанерозоя Воронежской антеклизы (факторы, прогноз) / В. И. Беляев, Д. А. Иванов // Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: Геология. – 2000. – № 9. – С. 39–45.

3. Иконников Н. Н. Перспективы выявления титан-циркониевых россыпей в центральной части Восточно-Европейской платформы / Н. Н. Иконников, А. П. Осипов // Перспективы расширения минерально-сырьевой базы центральных районов РСФСР. – М., 1989. – С. 53–57.

4. Титан-циркониевые россыпи Центрально-Черноземного района / А. Д. Савко [и др.]. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 1995. – 148 с.

5. Kretz R. Symbol for rock-forming minerals / R. Kretz // *Almer Min.* – 1983. – № 68. – P. 277–279.

6. Золотарева Г. С. Типоморфизм и типохимизм минералов титан-циркониевых россыпей Воронежской антеклизы как критерий реконструкции их формирования. : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Воронеж, 2009. – 23 с.

7. Кременецкий А. А. Новые подходы для реконструкции условий формирования Ti-Zr россыпей России

и Украины / А. А. Кременецкий [и др.] // Тезисы докладов Международной научно-практической конференции, г. Симферополь. – Судак, 2008. – С. 127–130.

8. Альбеков А. Ю. Геология, петрология и минералогическая оценка перспектив рудоносности габбродо-леритовых массивов трапповой формации Воронежского кристаллического массива : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук / А. Ю. Альбеков. – Воронеж, 2002. – 24 с.

9. Египко О. И. Некоторые минералого-петрографические и геохимические особенности докембрийских гранитоидов юго-восточной части Воронежского кристаллического массива : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук / О. И. Египко. – Воронеж, 1971. – 24 с.

10. Звонарев А. Е. Акцессорные минералы мел-палеогеновых терригенных отложений Воронежской антеклизы : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук / А. Е. Звонарев. – Воронеж, 2004. – 24 с.

11. Ильяш В. В. Сравнительная характеристика комплексов акцессорных минералов разновозрастных литологических формаций докембрия КМА / В. В. Ильяш // Литогенез в докембрии и фанерозое Воронежской антеклизы. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 1977. – С. 30–48.

12. Ильяш В. В. Типоморфные особенности циркона и других акцессорных минералов гранитоидов главной фазы павловского комплекса ВКМ как петрогенетические индикаторы / В. В. Ильяш, А. Е. Звонарев // Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: Геология. – 2001. – № 12. – С. 140–148.

13. Плаксенко А. Н. Акцессорные минералы дифференцированных никеленосных интрузий Воронежского кристаллического массива / А. Н. Плаксенко ; [науч. ред. Н. М. Чернышов]. – Воронеж : ВГУ, 1981. – 227 с.

14. Чернышов Н. М. Некоторые особенности акцессорной минерализации в ультраосновных породах ВКМ / Н. М. Чернышов, Н. В. Кравченко, О. Б. Лукина // Тезисы докладов отчетной научной конференции за 1965 г. Секц. геолого-географических наук. – 1966. – С. 25–26.

15. Ненахов В. М. Изменения типоморфических и типохимических свойств цирконов акцессорных минеральных ассоциаций в ряду «коренной источник – кора выветривания – россыпь» / В. М. Ненахов, Г. С. Золотарева // Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: Геология. – 2006. – № 2. – С. 141–148.

16. Иконников Н. Н. Россыпная продуктивная формация осадочного чехла Русской плиты / Н. Н. Иконников // 8-е совещание по геологии россыпей. – Киев, 1987. – С. 249–251.

17. Савко А. Д. Эпохи россыпеобразования титан-циркониевых минералов в истории Воронежской антеклизы / А. Д. Савко, В. И. Беляев, Д. А. Иванов // Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: Геология. – 1996. – Вып. 1. – С. 20–25.

18. Дмитриев Д. А. Литология и полезные ископаемые сантонских отложений междуречья Девица–Олым–Снова (Воронежская, Липецкая и Курская области) : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук / Д. А. Дмитриев. – Воронеж, 2003. – 24 с.

19. Хожаинов Н. П. Акцессорные минералы в отложениях палеозоя и мезозоя Воронежской антеклизы как показатели палеогеографических условий седиментации и рудоносности / Н. П. Хожаинов // Минералогический сб. Львовского ун-та. – 1983. – № 37. – Вып. 2. – С. 57–65.

Рецензент А. Д. Савко

*Воронежский государственный университет
В. М. Ненахов, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры общей геологии и геодинамики
Тел. 8 (4732) 208-989
nenahov@main.vsu.ru*

*Г. С. Золотарева, старший научный сотрудник
Тел. 8 (4732) 208-926
akcessoriy@mail.ru*

*Voronezh State University
V. M. Nenakhov, Doctor of the Geological and Mineralogical Sciences, Professor Chair of Geodynamics and Geological
Tel. 8 (4732) 208-989
nenahov@main.vsu.ru*

*G. S. Zolotareva, the senior scientific employe
Tel. 8 (4732) 208-926
akcessoriy@mail.ru*