

УДК 549:551.7 (470.320)

Черешинский А.В., Савко А.Д., Шевырев Л.Т.  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛОВ-ИНДИКАТОРОВ КИМБЕРЛИТОВ ИЗ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ВОРОНЕЖСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ

*Выделенные авторами минералы-индикаторы кимберлитов (МИК) в осадочном чехле Воронежской антеклизы (ВА) распространены неравномерно как по разрезу, так и по площади. В девонских отложениях содержание МИК невелико, исключением являются породы мамонской толщи на юго-востоке антеклизы. Образования аптского и альбского ярусов содержат рекордное количество индикаторных минералов. Для палеогеновых и неогеновых отложений из МИК характерны пиропы, в меньшей степени хромшпинелиды. **Ключевые слова:** Воронежская антеклиза, алмазы, хромшпинелиды, пиропы, промежуточные коллекторы.*

Chereshinskiy A.V., Savko A.D., Shevryev L.T.  
(FSEI HPE «VSV»)

## DISTRIBUTION AND FEATURES OF MINERAL INDICATORS OF KIMBERLITES FROM INTERMEDIATE RESERVOIRS OF THE VORONEZH ANTECLISE

*The mineral indicators of kimberlites (MIK) within the Voronezh anteclise (VA) are distributed unevenly, both along the section and over the area. In the Devonian sediments, the MIK content is low, except for the rocks of the Mamon series in the southeast of the anteclise. Formations of the Aptian and Albian stages contain a record amount of indicator minerals. The Paleogene and Neogene deposits from the MIK are characterized by pyropes and, to a lesser extent, Cr-spinels. **Key-words:** Voronezh anteclise, diamonds, Cr-spinels, pyropes, intermediate reservoirs.*

На территории Воронежской антеклизы (ВА) выявленных кимберлитов или других коренных источников алмазного сырья пока не обнаружено, однако ряд исследователей считает данную площадь перспективной на обнаружение алмазов [3, 4, 6, 11]. Для прогноза и поисков месторождений алмазов в пределах закрытых районов ведущую позицию занимает изучение минералов-индикаторов кимберлитов (МИК), выделенных из разновозрастных разрезов. Питающие области размыва для каждого из промежуточных коллекторов отличались друг от друга пространственным положением, возрастом, литологическим составом размываемых пород и величиной площади сноса. Для выхода

на коренные источники алмазов необходимо изучение разновозрастных коллекторов и исследование МИК, основными из которых являются алмазы, пиропы, пикроильмениты, хромшпинелиды и хромдиопсид.

В 2004–2006 гг. в различных частях антеклизы были отобраны 50 опорных проб объемом 0,25–10 м<sup>3</sup> из терригенных пород палеозоя, мезозоя и кайнозоя. Они были обработаны в НПП «Недра», г. Симферополь, где из них выделены МИК. При проведении работ по геологической съемке в 2003–2019 гг. изучено 280 шлиховых проб, опробованы девонские, каменноугольные, юрские, меловые, палеогеновые и неогеновые образования. Начальный объем шлиховой пробы составил 20 л (0,02 м<sup>3</sup>). Типоморфные и химические особенности выделенных индикаторных минералов изучены под биноклем, на электронном микроскопе с рентгеновским микронзондовым анализатором Camebax 50-SX (МГУ), электронном микроскопе Jeol 6380 LV с энергодисперсионной системой количественного анализа Inca-250 (ВГУ) и электронном микроскопе JSM 5300 со спектрометром Link:ISIS (ЦНИГРИ), проведено более 1000 анализов.

Наиболее древним концентратом МИК в пределах ВА является палеозойский, он представлен девонскими и каменноугольными образованиями. Породы девонского возраста имеют широкое распространение, они развиты в северо-восточной и центральной части ВА. Наиболее перспективными для опробования являются отложения, для которых велика роль терригенного материала, это дорогобужская и клинцовская, ястребовская, петинская свиты и мамонская толща (рис. 1).

Алмазоносность отложений дорогобужской и клинцовской свит ( $D_2 dr-kl$ ) центральной части антеклизы (Курская область) исследовалась в ООО «Притяжение» в 2001 г. [11]. Был выполнен минералогический анализ конгломератов и гравелитов, извлеченных из разреза скв. 3741. Обнаружен уплощенный осколок бледно-зеленого с изумрудным оттенком диопсида. Зерно соответствует хромсодержащему диопсиду с пониженным содержанием  $Cr_2O_3$ , что не позволяет относить его к хромдиопсидам кимберлитовой ассоциации [7].

Из прочих находок, возможно, высокобарических минералов в девоне Курской области отметим зерна шпинели в песках  $D_2 dr-kl$  скв. 3729, обнаружение концентраций этого же минерала в тяжелой фракции до 0,01 % (скв. 3094) и единичные зерна шпинели в скв. 2977 [11]. Значение этих находок на данном этапе без геохимических исследований оценить нельзя.

В ходе работ по ГДП-200 по территории листа М-37-1 (Курск) хромшпинелиды из дорогобужской и клинцовской свит выделены из песков двух скважин. В скв. 17 отмечаются находки 4, а в скв. 19 — 5 знаков. Хромшпинелиды имеют сходный размер (0,1–0,2 мм) и близкую степень изношенности (до 3–4 класса). По

химическому составу зерна преимущественно низкохромистые и их нельзя рассматривать как МИК.

Отложения ястребовской свиты ( $D_3js$ ) в пределах ВА имеют широкое распространение. На юге антеклизы из прибрежно-морских терригенных пород  $D_3js$  выделены многочисленные зерна пикроильменитов и хромшпинелидов (группа разрезов Павловской площади) [2]. Их содержания в пробах колеблются от единичных знаков до нескольких тысяч. По своему химическому составу и морфологическим признакам зерен они соответствуют пикроильменитам и хромшпинелидам из туфов и туфопесчаников ястребовской свиты. На северо-западе антеклизы ястребовский коллектор опробован только по единичным скважинам. В скв. 17 выделен один знак низкохромистого хромшпинелида, который представлен гладкогранным октаэдром.

В отложениях петинской свиты ( $D_3pt$ ) обнаружены хромшпинелиды, пикроильменит, хромдиопсид (проба 6006). Для пикроильменитов характерны крупные размеры зерен — до 1,2 мм. Количество знаков хромшпинелидов — 33, они представлены кристаллами октаэдрического облика размером до 0,6 мм. Хромдиопсидов три, они представлены окатанным зерном и обломками размером до 0,3 мм. По своему химическому составу хромдиопсид низкохромистый,

содержание  $Cr_2O_3$  составляет 0,63 %,  $Al_2O_3$  — 1,96 % и  $Na_2O$  — 0,86 %. В пикроильменитах содержания  $MgO$  достигают 9,86 масс. %.

Мамонская толща ( $D_3mm$ ) представляет собой континентальные отложения, распространенные на юго-востоке ВА. Толща опробована на юго-восточной окраине с. Осетровка Воронежской области (проба 6001) [6, 11]. Из МИК встречены пикроильмениты, они угловатые, оскольчатые, окатанные зерна единичны, с неровной поверхностью. По химическому составу зерна низкомагнезиальные, содержание  $MgO$  колеблется от 5,01 до 5,69 масс. %,  $Cr_2O_3$  от 0,11 до 0,23 масс. % [6, 11].

Каменноугольный коллектор опробован в «курском грабене», который представляет собой участок поверхности, где отложения каменноугольной системы сохранились от размыва в результате вертикального опускания. Большая часть проб, отобранных из отложений визейского яруса, скважины 4 содержали повышенные концентрации хромшпинелидов до 106 знаков на пробу весом 8 кг.

Хромшпинелиды представлены плоскогранными октаэдрами, реже встречаются обломки кристаллов. Они преимущественно хорошо окатаны (3–4 класс), имеют размер до 0,4 мм. В выделенных зернах преобладает гипергенно-механогенная поверхность. Для

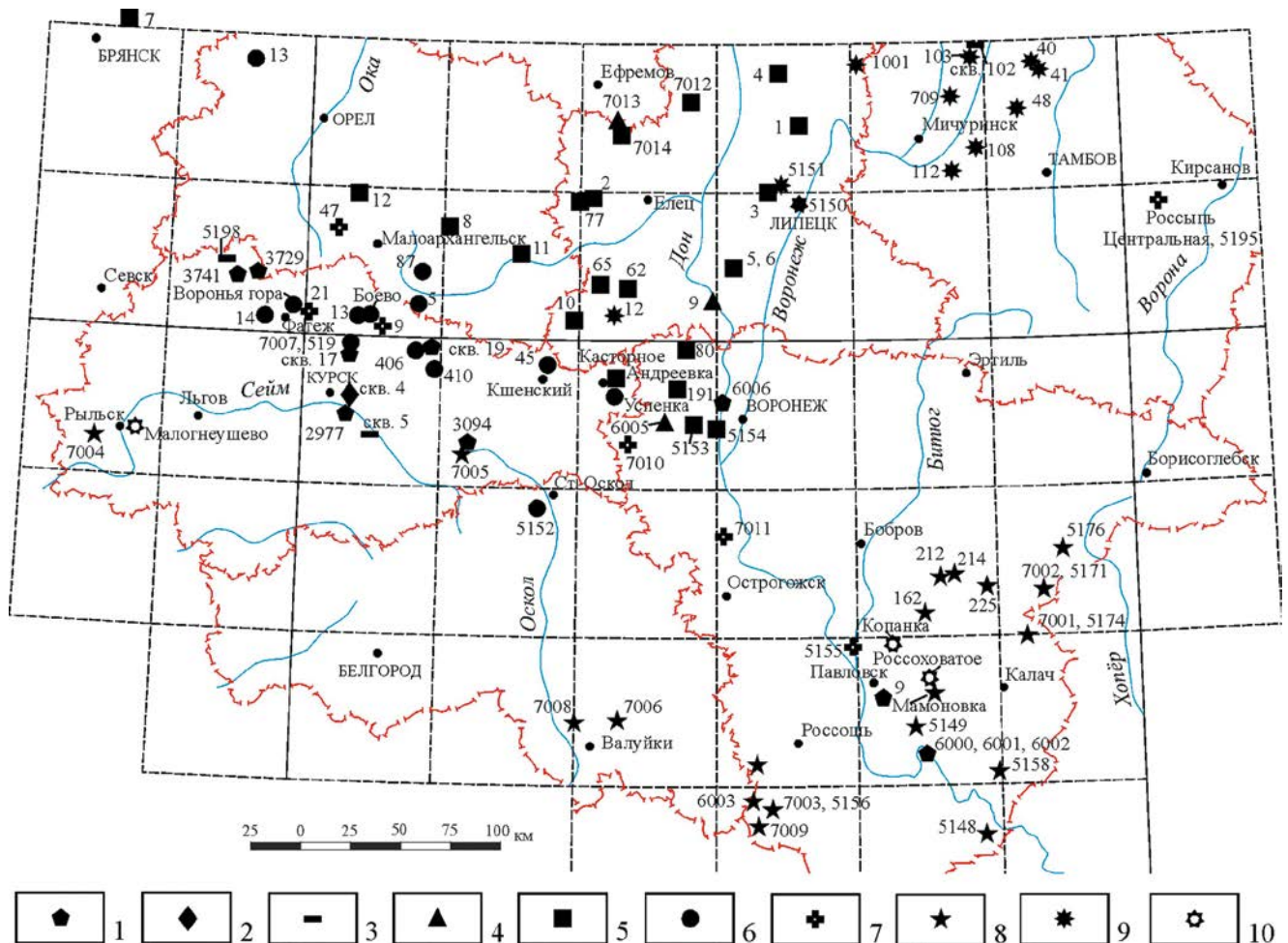


Рис. 1. Карта фактического материала, места находок МИК: 1 — девонские разрезы; 2 — каменноугольные; 3 — юрские; 4 — готерив-барремские, 5 — аптские, 6 — альбские, 7 — сеноманские; 8 — палеогеновые; 9 — неогеновые, 10 — четвертичные

хромшпинелидов характерны широкие вариации химического состава (масс. %):  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  — 29,3–64,3,  $\text{TiO}_2$  — 0,01–5,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 7,74–29,7 [8]. На диаграмме Н.В. Соболева в координатах  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ – $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ – $\text{TiO}_2$  не видно четко выраженного кимберлитового тренда, для большинства зерен характерен перидотитовый тренд. При этом две пробы попадают в поле составов хромшпинелидов алмазной ассоциации.

Мезозойские промежуточные коллекторы в пределах ВА наиболее хорошо опробованы [6, 11]. Наиболее детально исследованы отложения аптского, альбского и сеноманского ярусов (рис. 1).

Юрский промежуточный коллектор изучен слабо, из него на МИК отобраны только несколько проб на северо-западе ВА (район г. Курск и Михайловского карьера) и на северо-востоке (район г. Мичуринск). В районе г. Курск МИК найдены в песчаных отложениях корочанской свиты келловея (скв. 5). Из пробы весом 8 кг было получено одно зерно хромшпинелида, размером 0,25 мм, представленное гладкогранным комбинационным кристаллом. Содержания основных оксидов составляет (масс. %):  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  — 57,29,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 6,26,  $\text{TiO}_2$  — 0,06.

В пределах Михайловского железорудного карьера (под г. Железнодорож Курской области) из разнозернистых песков батского яруса выделены микрокристаллы алмаза. Они обнаружены в 5 образцах, отобранных по керну скважин, и из одной пробы из уступа восточного борта карьера (проба 5198). Количество мелких алмазов в изученных образцах составляет от 1 до 29 знаков, всего выделено 39 зерен, встречен один обломок фиолетового пироба, размером до 0,5 мм.

На северо-востоке антеклизы (Тамбовская область) в юрских отложениях (елатынская свита келловея, скв. 102) выделено 27 зерен хромшпинелидов. Для них характерна близкая степень окатанности (2–3 класс) и однотипный характер поверхности с признаками гипергенного растворения. Для хромшпинелидов характерны невысокие колебания химического состава (масс. %):  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  — 46,5–56,66,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 7,31–10,03,  $\text{TiO}_2$  — 0,28–0,61.

Меловой коллектор в пределах ВА наиболее благоприятен для пробоотбора: породы выходят на дневную поверхность, имеют большую распространенность и содержат грубые разности, благоприятные для концентрации МИК. Из готеривских и барремских отложений отобрано незначительное количество проб, МИК выделены в двух местонахождениях. В пробе, отобранной у с. Верхняя Колыбелька, обнаружено три мелких алмаза. Это красно-коричневое зерно с комбинационными формами куб-октаэдр размером до 0,19 мм и два неправильных бесцветных осколка кристаллов.

В местонахождении Реневка выделено 9 пиробов, 30 хромшпинелидов, зерно хромдиоксида. Преобладающая окраска пиробов — фиолетовая, присутствуют зерна красновато-оранжевого и красновато-розового цвета. Зерна окатаны в основном незначительно (1 класс), одно зерно представлено кубоидом растворения. Количество  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в изученных пиробах колеблется (масс. %): от 1,63 до 7,49,  $\text{MgO}$  — 18,38–20,67,  $\text{CaO}$  — 4,46–6,66.

Хромшпинелиды представлены октаэдрами (размером 0,15–0,65 мм) со сглаженными ребрами и вершинами (2–3 класс окатанности). Встречены два зерна с хорошо выраженными гранями и заостренными ребрами.

В отложениях аптского яруса выявлено рекордное для Воронежской антеклизы количество алмазов и хромшпинелидов, а также имеются находки пиробов (рис. 2).

Мелкие алмазы выделены из пяти разрезов: Волчинская россыпь (проба 1), Карьер Андреевка, Кудияровка (проба 2), Лев Толстой (проба 4), Захаровка (проба 10). В большинстве разрезов алмазы не сопровождаются высокобарическими минералами. Из Волчинской россыпи (Липецкая область) в результате опробования 1960–1970-х гг. получено 241 зерно алмаза размером 0,15–0,25 мм [5, 6, 11]. Среди морфологических форм кристаллов преобладают кубы — 72 %, октаэдры — 13 %, 15 % приходится на другие кристаллографические формы и обломки без элементов огранки. В 2001–2005 гг. нами выделено еще 79 алмазов размером 0,16–0,46 мм. Они представлены преимущественно октаэдрами, чуть меньшим количеством кубов, присутствуют комбинационные формы, неопределимые обломки без выраженных элементов огранки, имеются находки уплощенных зерен.

В пробе из разреза д. Кудияровка присутствует один алмаз размером 0,21 мм, представленный бесцветным куб-ромбодекаэдром. В разрезе Лев Толстой обнаружено 7 зерен алмаза, из них 3 представлены кубами, 1 комбинационным кристаллом, 1 — октаэдром и 2 — неправильными обломками. В местонахождении д. Захаровка обнаружен один кристалл октаэдра. В разрезе Андреевка (Курская область) было обнаружено 42 алмаза размером 0,05–0,25 мм. В пробе преобладают октаэдры и кубы, характерны поликристаллические сростки, преобладающий цвет зерен зеленовато-серый и серовато-зеленый.

В местонахождениях Кудияровка и Лев Толстой алмазы сопровождаются хромшпинелидами. Количество зерен в пробах колеблется от 4 до 14 знаков, они представлены кристаллами октаэдрической формы размером 0,2–0,4 мм. Хромшпинелиды практически неокатаны, с хорошо выраженными ребрами и вершинами.

В разрезах 7012 и 7014, расположенных северо-западнее местонахождений, содержащих алмазы, выделены пиробы — 1–3 знака размером 0,2–0,5 мм, встречено одно зерно до 0,7 мм [6, 11]. Их преобладающая окраска фиолетовая и фиолетово-розовая. Поверхность пиробов блестящая с раковистым изломом (гипергенно-механогенный тип). В них  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  до 2,74 масс. %,  $\text{CaO}$  до 5,71 %. На диаграмме Н.В. Соболева точки составов попадают в основном в область лерцолитового парагенезиса.

В юго-западной части Липецкой области выделено три разреза (т.н. 62, 65 и 77), которые характеризуются высоким содержанием МИК, до 4179 хромшпинелидов на пробу. Хромшпинелиды представлены плоскогранными октаэдрами, реже встречаются обломки и зерна неправильной формы. Поверхность зерен матирован-

ная или шероховатая с выбоинами и сколами, реже отмечается гладкая, блестящая. Гипергенная поверхность в целом не характерна, представлена небольшими каналами травления. В т.н. 62 и 65 хромшпинелиды преимущественно слабо окатаны (1–2 класс), в т.н. 77 кристаллы более окатанные (2–4 класс).

Для изучения химического состава МИК было исследовано 160 зерен, содержание основных оксидов в хромшпинелидах составляет (масс. %):  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  — 28,05–69,83,  $\text{MgO}$  до 17,72,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 2,37–40,13,  $\text{TiO}_2$  до 8,07. Для зерен наблюдается двойной — перидотитовый и пикритовый тренд (кимберлитовый). В область алмазной ассоциации попадают 11 знаков. Кроме хромшпинелидов выделен флогопит от 1 до 4 знаков на пробу. В одном зерне флогопита встречены включения хромшпинелидов. Флогопит характеризуется высоким содержанием  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (преобладает истонитовый минал).

Южнее рассмотренных разрезов, на территории Воронежской области, в песках аптского возраста (криушанская свита) выявлено два местонахождения (т.н. 80 и 191) с повышенным содержанием хромшпинелидов (рис. 2). В разрезе Лебяжье (т.н. 80) выделено 1784 зерна хромшпинелидов, в местонахождении Гремячий Колодезь (т.н. 191) обнаружено 763 зерна. Хромшпинелиды в основном имеют размер 0,2–0,25 мм. Характерны кристаллы октаэдрического облика, поверхность граней обычно шероховатая или матированная, реже наблюдаются каналы травления. Отмечаются уплощенные и удлиненные зерна, сростки хромшпинелидов, на отдельных кристаллах образуются грани ромбододекаэдра в виде полосок на ребрах октаэдра. Также в данных местонахождениях выделены хромшпинелиды «мантийного типа», характерные для кимберлитов. К ним относятся октаэдры, вершины и ребра которых притуплены мелкими гранями — вициналями и кристаллы мироздрического облика.

Был исследован химический состав 115 хромшпинелидов, для них характерны широкие вариации входящих в их состав элементов (масс. %):  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  — 25,59–70,42,  $\text{MgO}$  до 17,5,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 3,89–39,86,  $\text{FeO}$  — 11,16–47,03,  $\text{TiO}_2$  до 7,35. На диаграмме Н.В. Соболева характерен перидотитовый тренд. Из проанализированных хромшпинелидов около 32 % попадают в поле составов алмазной ассоциации.

Альбский коллектор опробован очень хорошо, однако большинство проб приурочено к северу антеклизы. Мелкие алмазы обнаружены в трех разрезах: Успенка, Боево, Воронья Гора (Курская область). В местонахождении Успенка было отобрано две пробы, в первой обнаружено 2, во второй — 5 знаков алмазов. В разрезе Боево выделено 3 зерна алмазов. Из карьера Воронья Гора получено 205 микрокристаллов. Все обнаруженные алмазы имеют небольшую размерность от 0,02 до 0,32 мм, при преобладании класса 0,05–0,07 мм. Для алмазов характерен серовато-зеленоватый цвет. Преобладают октаэдры, кубы и их комбинации, реже встречаются ромбододекаэдры. Для разреза Воронья Гора характерны поликристаллические сростки.

На юго-западе ВА альбский коллектор был опробован в Лебединском карьере (проба 5152), где были выделены пиропы [6, 11]. Всего обнаружено 23 угловатых обломка, преобладающий цвет — фиолетовый различной интенсивности. Размер зерен составляет от 0,4 до 0,9 мм, преобладающий — 0,5–0,7 мм. Для отдельных пиропов характерно повышенное содержание  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  до 10,78 масс. %.



Рис. 2. Морфологические особенности МИК из аптских и альбских отложений: 1–6 — мелкие алмазы из Волчинской россыпи; 7–12 — кристаллы хромшпинелидов, т.н. 80; 13 — пироп, т.н. 45; 14 — пироп, т.н. 13; 15–16 — хромшпинелиды, т.н. 13

На северо-западе антеклизы из альбских псаммитов выделено большое количество высокобарических минералов — т.н. 406, 410, 519 [8, 11]. Из мелкообъемной пробы (т.н. 406) выделено 158 зерен пиропов. Средний размер зерен составляет 0,25–0,5 мм, встречаются тринадцать зерен крупнее 0,5 мм. В т.н. 410 выделено 14 зерен пиропов, из т.н. 519 — 5. Пиропы слабо окрашены, их цвет в основном фиолетовый и малиновый. По степени сохранности зерна пиропов представлены угловатыми, угловато-окатанными и окатанными обломками. В пробе из т.н. 410 обнаружены пиропы с хорошо проявленной гипергенной поверхностью. Содержание  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в изученных зернах составляет от 1,14 до 11,62 масс. %,  $\text{CaO}$  от 1,7 до 8,38. У некоторых пиропов наблюдается повышенное содержание  $\text{NaO}$  до 0,07 масс. %, такие содержания  $\text{NaO}$  характерны для гранатов из алмазоносных эклогитов [1, 7].

Кроме пиропов отмечаются хромшпинелиды, в пробах 406/304 — 344 знака, 410/307 — 15, 519/401 — 43. Размер зерен преимущественно 0,15–0,3 мм, в пробе из т.н. 406 встречаются 12 хромшпинелидов крупнее 0,3 мм. Хромшпинелиды представлены октаэдрами с притупленными ребрами и вершинами, отмечаются кристаллы, форма которых отклоняется от октаэдрической [8]. Количество  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  составляет от 29,7 до 66,3 масс. %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  от 5,29 до 37,81 %. На диаграмме Н.В. Соболева одна точка составов попадает в поле хромшпинелидов алмазной ассоциации.

Восточнее рассмотренных разрезов в пробе 45/102, отобранной на северо-востоке Курской области из образований альбского яруса, выделен комплекс МИК — пиропы и хромшпинелиды. Для пиропов характерен красновато-розовый цвет, размер зерен изменяется в интервале от 0,2 мм до 1,5 мм, при преобладании размерности 0,25–0,5 мм. Компонентный состав изученных гранатов соответствует алмадин-пиропу (4 зерна) и пироп-алмадину (3 зерна). Для пироп-алмадинов характерны более высокие содержания  $\text{MgO}$  (18,76–19,36 масс. %),  $\text{CaO}$  (5,01–5,95) и  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (1,31–3,7). Хромшпинелиды обнаружены в количестве 48 зерен, их размер колеблется от 0,1 до 0,5 мм, представлены плоскогранными октаэдрами. Характер поверхности зерен гипергенно-механогенный. Содержание  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в изученных зернах составляет от 40 до 61,8 масс. %,  $\text{TiO}_2$  — до 3,81,  $\text{MgO}$  — 1,88–12,76. На диаграмме Н.В. Соболева большинство зерен находится в поле неалмазоносных пород.

Севернее рассмотренных разрезов (север Курской, юг Орловской областей) из альбских отложений (т.н. 5, 13, 87) выделены пиропы, хромшпинелиды и пикроильмениты (рис. 2) [9].

Количество пиропов в изученных разрезах незначительно, максимальные содержания приурочены к т.н. 13 — 6 знаков. Размер зерен составляет преимущественно 0,2–0,3 мм. Пиропы окрашены в фиолетовые и лиловые тона разной интенсивности, при преобладании бледной окраски. Они в своем большинстве являются низкохромистыми. Содержание хромшпинелидов — от 19 до 58 знаков, размер зерен не превышает 0,5 мм, при преобладании гранулометрического класса 0,1–0,3 мм.

Хромшпинелиды представлены кристаллами октаэдрического облика, встречаются единичные комбинационные кристаллы. По своему химическому составу хромшпинелиды характеризуются широкими колебаниями химического состава (масс. %):  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  — 30,88–67,0,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 5,7–36,79,  $\text{TiO}_2$  — 0,01–14, 58,  $\text{MgO}$  — 1,87–17,91. На диаграмме Н.В. Соболева три зерна попадают в поле составов хромшпинелидов алмазной ассоциации.

Пикроильменит обнаружен в пробах, отобранных из т.н. 5 (3 пробы), количество знаков колеблется от 1 до 3. Они представлены окатанными обломками неправильной формы размером до 0,3 мм. По своему химическому составу зерна являются низкомагнезиальными и низкохромистыми и не принадлежат области составов пикроильменитов из кимберлитов.

Сеноманский коллектор опробован хуже по сравнению с аптским и альбским. Это во многом связано с распространением в нем мелкозернистых песков и отсутствием грубозернистых разностей. Значимые находки МИК сделаны в шести пунктах: Центральная титан-циркониевая россыпь, Болдыревка (проба 7011), Нижнедевицк (проба 7010), т.н. 9, 21, 47.

На северо-востоке ВА при изучении Центральной титан-циркониевой россыпи (Тамбовская область) встречено 17 зерен алмаза. Они характеризуются небольшим размером — не более 0,2 мм, среди алмазов преобладали кубы, в меньшей степени октаэдры. Из пробы у с. Болдыревка выделены пиропы (6 зерен) и единичные зерна хромшпинелидов. Пиропы представлены разностями розовато-фиолетового и розовато-оранжевого цвета размером до 0,55 мм. Количество  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в изученных пиропках колеблется от 1,7 до 2,38 масс. %,  $\text{MgO}$  — 19,19–21,24,  $\text{CaO}$  от 3,95 до 5,02. Хромшпинелиды характеризуются низким содержанием  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  — не более 45,08 масс. %. В пробе у п. Нижнедевицк обнаружено три пиропка, для них характерен розово-фиолетовый и оранжевый цвет, размер зерен до 0,5 мм. Кроме пиропов встречаются два зерна хромшпинелидов, они представлены октаэдром с отколотой частью и угловато-окатанным обломком с реликтами сглаженных октаэдрических граней.

В местонахождениях из т.н. 9, 21, 47 выделены хромшпинелиды. Количество зерен в пробах колеблется от 4 до 7. Хромшпинелиды представлены кристаллами октаэдрического облика, размером от 0,1 до 0,2 мм. По своему химическому составу изученные зерна характеризуются широкими колебаниями основных элементов, одно зерно из т.н. 21 соответствует хромшпинелидам алмазной ассоциации.

Кроме отмеченных разрезов наблюдается ряд местонаждений, приуроченных к северу ВА, где встречаются единичные находки МИК (1–3 зерна) [6, 9].

Палеогеновые образования хорошо опробованы, однако большинство выделенных разрезов приурочено к юго-востоку Воронежской антеклизы (рис. 1). Из МИК выделены: пиропы, хромшпинелиды, пикроильмениты и алмазы (рис. 3).

Пиропы выявлены в количестве от 1 до 79 знаков на пробу. Наиболее представительными разрезами яв-

ляются 7001, 7002, 7003, где обнаружено наибольшее количество зерен [6, 11].

Из отложений сумской свиты (проба 7001, разрез Нижний Бык) выделено 15 зерен пиропов. Большая часть зерен имеет размер 0,2–0,3 мм, 6 зерен — 0,4–0,6 мм. Окраска пиропов от фиолетовой до розовой, они слабоокатаны, представлены угловатыми обломками неправильной формы. В пробе из разреза Михайловка (7002, сумская свита) выделено 33 пиропы, 4 зерна имеют фиолетовую окраску, 12 — оранжево-красную, 17 — бледно-розовую. Размер зерен составляет 0,25–0,3 мм, одно зерно более крупное — до 0,6 мм. Пиропы преимущественно угловато-окатанные (2 класс), реже хорошо окатанные (3–4 класса). В бучакских отложениях (проба 7003) выделено 79 пиропов фиолетового цвета, размером 0,2–0,9 мм. В изученных зернах содержание  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  колеблется от 0,1 масс. % в пироп-альмандинах до 9,34 % в пиропках. На диаграмме Н.В. Соболева основная часть зерен попадает в область лерцолитового парагенезиса, две точки составов — в область дунит-гарцбургитового парагенезиса, причем одна из них в поле алмазной ассоциации.

Хромшпинелиды найдены в отложениях бучакской (225, 6003, 6004, 7003), сумской (162, 7001) и воробьевской (212, 214) свит. Количество зерен колеблется от 4–10 до нескольких сотен. Они представлены октаэдрическими кристаллами размером 0,1–0,3 мм. Большинство зерен слабо окатаны (2 класс). По химическому составу хромшпинелиды низкохромистые,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в них от 24,5 до 41,1 масс. %, количество  $\text{TiO}_2$  от 0,27 до 6,5 %,  $\text{MgO}$  до 17,2 %.

Пикроильмениты выделены в единичных зернах из отложений сумской (проба 7001) и бучакской свит

(проба 7003). Зерна тяготеют к крупным размерным классам (более 0,25 мм), они, как правило, хорошо окатаны (3–4 класс), по химическому составу низкомагнезиальные.

В палеогеновых отложениях обнаружены 7 мелких алмазов [6, 11]. На участке Мамоновка (бучакская свита) извлечено 3 кристалла. Один бесцветный, прозрачный в классе –4+2 мм, представлен слегка поврежденным октаэдром. Два зерна обнаружены в классе –2+1 мм — это обломки октаэдра и шпинеливого двойника. В пробе из отложений сумской свиты палеогена (проба 7001) выделено три зерна алмаза размером 0,18–0,33 мм — октаэдр, куб и осколок кристалла [6]. Октаэдрическое зерно представлено обломком, он бесцветный, просвечивает. Алмаз кубического габитуса имеет желтый цвет, поверхность его граней ямчато-бугорчатая, ребра ступенчатые. Осколок кристалла неопределенного габитуса бесцветный, просвечивает. В пробе, отобранной из разреза Ершовка (проба 5171), обнаружен один кристалл алмаза, представленный обломком октаэдра размером 0,25 мм. На северо-западе ВА в образованиях бережской свиты (палеоген-неоген) в изученных разрезах выделены единичные зерна хромшпинелидов (1–2 зерна).

Неогеновый коллектор опробован преимущественно в северной и северо-восточной частях антеклизы. На северо-востоке из неогеновых отложений выделен комплекс МИК — пиропы и хромшпинелиды. Пиропы отмечаются в 4 разрезах (40, 41, 48, 103), представленных отложениями тамбовской и сосновской свит и горелкинской серией, в количестве от 1 до 3 зерен размером преимущественно 0,16–0,25 мм. Зерна фиолетовой, реже розово-фиолетовой окраски, имеют неправильную угловато-окатанную, реже кубическую форму. У пиропов отмечается два типа поверхности — гипергенного растворения и механогенная, с преобладанием первой. Содержание основных оксидов составляет (масс. %):  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  — 1,2–5,15,  $\text{CaO}$  — 4,04–5,91,  $\text{MgO}$  — 18,2–23,58. По соотношению  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $\text{CaO}$  (на диаграмме Н.В. Соболева) практически все пробы попадают в область гранатов лерцолитового парагенезиса, и только одна из отложений горелкинской серии дунит-гарцбургитового парагенезиса не алмазной ассоциации.

Хромшпинелиды выделены из отложений тамбовской свиты и усманской серии — т.н. 103, 108, 112, 709, 1001. Зерна представ-



**Рис. 3. Морфологические особенности МИК кайнозойских коллекторов:** 1–2 — мелкие алмазы, т.н. 7001; 3–4 — пиропы, т.н. 7003; 5–8 — хромшпинелиды, т.н. 212; 9–12 — хромшпинелиды, т.н. 12

лены плоскогранными октаэдрами, их содержания в пробах колеблются от 7 до 23 знаков. Размер хромшпинелидов — 0,1–0,25 мм, они хорошо окатаны (3–4 класс). В изученных хромшпинелидах механогенная поверхность преобладает над гипергенной и представлена микровыбоинами.  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в изученных зернах колеблется от 24,6 до 64,3 масс. %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  от 2,4 до 41,  $\text{TiO}_2$  от 0 до 9,57,  $\text{MgO}$  до 20,2. На диаграмме Н.В. Соболева две пробы из неогеновых отложений попадают в поле состава хромшпинелидов алмазной ассоциации.

Западнее рассмотренных разрезов, на территории листа N-37-XXXIII (Елец) МИК выделены в т.н. 12 (нижнеусманская подсерия). Обнаружены 43 хромшпинелида размером от 0,1 до 0,25 мм, представленные плоскогранными зернами октаэдрической формы, хорошо окатанными (3–4 класс) с гипергенно-механогенной и механогенной поверхностями при преобладании второй. Содержание  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в хромшпинелидах составляет от 41 до 63,3 масс. %,  $\text{TiO}_2$  — от 0 до 5,88 %,  $\text{MgO}$  — 0,43–15,7 %, и они находятся в поле неалмазоносных пород.

Четвертичные образования содержат пиропы, хромшпинелиды, пикроильмениты и мелкие алмазы. Обнаружено 4 местонахождения алмазов, из которых в сумме выделено 31 зерно. В пробе из отложений разреза Липецкое городище (ильинская свита) выделен один кристалл алмаза, представленный октаэдром размером около 1 мм. Он прозрачный со слабым желтоватым цветом и закругленными вершинами. На северо-западе ВА из верхнеплейстоценового аллювия в карьере Малогнеушево (Курская область) получено 27 зерен алмазов. Алмазы имеют небольшую размерность 0,02–0,32 мм, при преобладании менее 0,1 мм. Преобладают октаэдры и кубы серовато-зеленоватого цвета, реже встречаются желтоватые и бесцветные зерна.

На юго-востоке Воронежской антеклизы из двух разрезов выделено три алмаза [6, 10]. Из современных русловых отложений участка Россоховатое были извлечены два кристалла октаэдрической формы размером 0,5 и 1,4 мм. Из делювиально-пролювиальных отложений днища временного водотока на участке р. Копанки получен один алмаз. Он представлен бесцветным, прозрачным ромбододекаэдром. На гранях алмаза отмечается шагреневая поверхность, грани и ребра округлены.

На юго-востоке и северо-востоке антеклизы из ложкового аллювия [6, 10] и флювиогляциальных и аллювиальных отложений получены многие неокатанные зерна пикроильменитов, хромшпинелидов и пиропов. Однако использовать эти данные необходимо с рядом ограничений, так как в раннем неоплейстоцене почти весь район ВА был занят Донским ледником. Областью питания ледников являлась северная алмазоносная провинция Восточно-Европейской платформы.

#### **Выводы**

Наиболее перспективными породами для опробования из палеозойских отложений являются образования петинской свиты и мамонской толщи. Каменноугольный коллектор (визейский ярус) характеризуется

высоким содержанием хромшпинелидов (до 106 знаков на одну пробу). Находки хромшпинелидов, пикроильменитов и хромдиопсидов в девонских и каменноугольных отложениях, в том числе принадлежащие алмазной ассоциации, позволяют предполагать, что к этому времени уже были сформированные кимберлитовые трубки. Можно выделить несколько этапов кимберлитобразования. Первый этап соответствует предпетинскому времени, о чем свидетельствуют находки МИК в образованиях петинской свиты и мамонской толщи. Источник сноса при этом располагался на юге Воронежской области в районе Россошанского срединного массива. Второй этап кимберлитового магматизма имеет предвизейский возраст. Данное утверждение опирается на наличие многочисленных находок хромшпинелидов, в том числе принадлежащих алмазной ассоциации в отложениях визейского яруса. Однако нельзя исключить более ранний возраст кимберлитобразования для второго этапа, так как МИК могли поступать из более древних коллекторов, а повышенные их содержания объясняются особенностями осадконакопления в визейское время.

Мезозойский промежуточный коллектор в пределах ВА является наиболее перспективным на обнаружение МИК. Для батского, келловейского, готеривского и барремского ярусов характерны находки единичных кристаллов мелких алмазов и редкие зерна МИК, преимущественно хромшпинелидов. Несмотря на небольшое количество местонахождений, данные образования представляются перспективными на изучение. Это обусловлено появлением в разрезах мелких алмазов и наличием в юрских породах хромшпинелидов, представленных комбинационными кристаллами.

Аптский промежуточный коллектор в центральной части ВА содержит рекордное количество минералов-индикаторов алмазоносного магматизма. В разрезах, содержащих мелкие алмазы, присутствуют как гладкогранные октаэдры, которые не претерпели длительного переноса, так и более изношенные кристаллы. Алмазы, скорее всего, поступали из разных источников — несколько типов промежуточных коллекторов и возможно коренных источников.

Среди минералов-спутников алмаза преобладают хромшпинелиды — до 4179 знаков на пробу объемом 20 л. Выделены хромшпинелиды «мантийного» типа, представленные мироздрическими кристаллами и октаэдрами с вицинальными гранями. Для них характерно повышенное содержание  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . В разрезах Воронежской области (т.н. 80) около 32 % зерен на диаграмме Н.В. Соболева попадают в область алмазной ассоциации, такое соотношение характерно для высокоалмазоносных тел. Наименее окатанные хромшпинелиды характерны для континентальных отложений, зерна из прибрежно-морских образований (т.н. 77) более окатанные. Наличие в разрезе аллювиальных отложений позволяет достаточно точно установить направление сноса, которое в аптский век происходило с юго-востока на северо-запад. Предполагаемый коренной источник индикаторных минера-

лов расположен в пределах Лосевской шовной зоны, имеющей архейско-раннепротерозойский возраст.

В образованиях альбского времени имеются находки мелких алмазов, хромшпинелидов, пиропов и пикроильменитов. Большая часть известных местонахождений тяготеет к северо-западу ВА. Степень окатанности и гипергенного растворения пиропов и хромшпинелидов неодинакова. Изученные высокобарические минералы формировались в различных типах шлиховых ореолов и поступали из разных источников. Сеноманский коллектор содержит МИК в меньшем количестве по сравнению с нижнемеловыми разрезами. Индикаторные минералы по степени окатанности и гипергенного изменения более однородны по сравнению с альбскими.

Таким образом, для образований мезозоя характерны изменения в составе МИК по сравнению с палеозойскими коллекторами. Прежде всего, это выражено в появлении в разрезах значительного количества мелких кристаллов алмаза, а также хромшпинелидов, представленных искаженными октаэдрами, характерными для кимберлитов (которые отсутствовали на данной территории в более древних образованиях). Возможные источники этого материала (кимберлиты или лампроиты) сформировались, таким образом, в посткаменноугольное время.

Кайнозойский промежуточный коллектор в пределах ВА является сравнительно хорошо опробованным. Для палеоценовых и эоценовых отложений юго-востока ВА характерно присутствие мелких алмазов, пиропов, хромшпинелидов и пикроильменитов. Количество мелких алмазов в выделенных разрезах не превышает 3 знака на пробу; для сравнения, в меловых образованиях оно достигает 241 знак. Содержания пиропов и хромшпинелидов в некоторых пробах весьма значительны, особенно в образованиях бучакской свиты (проба 7003) — 79 знаков, но только одно зерно попадает в область алмазной ассоциации.

Неогеновый коллектор имеет низкое и умеренное содержание МИК, представленных гранатами и хромшпинелидами. Они имеют небольшой размер, сконцентрированы в узком гранулометрическом классе, многие зерна сильно окатаны (до 3–4 класса). Все это свидетельствует о том, что данные МИК поступали в неогеновые отложения из более древних промежуточных коллекторов.

Поисковая значимость алмазов, пиропов, хромшпинелидов и пикроильменитов, выделенных из отложений четвертичного возраста невелика, поскольку значительная часть антеклизы в раннем неоплейстоцене была занята ледниками.

По сравнению с образованиями мезозоя кайнозойские коллекторы характеризуются более низкими содержаниями алмазов, хромшпинелидов и пикроильменитов и повышенным количеством пиропов на юго-востоке антеклизы, в том числе высокохромистых. Все это свидетельствует о наиболее вероятном проявлении алмазоносного кимберлитового магматизма в мезозое в предаптический континентальный перерыв.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гаранин, В.К. Включения в алмазах и алмазоносные породы / В.К. Гаранин, Г.П. Кудрявцева и др. — М., 1991. — 240 с.
2. Канцеров, В.А. Ильменитоносные вулканогенно-осадочные породы верхнего девона юго-востока Воронежской антеклизы: Автореф. дисс. к. г.-м.н. — Харьков: ХГУ. — 1984. — 23 с.
3. Митюхин, С.И. Геолого-генетические и эмпирические основы выделения таксона класса субпровинции кимберлитов и конвергентных им пород / С.И. Митюхин // Отечественная геология. — 1997. — № 1. — С. 23–28.
4. Михайлов, М.В. Перспективы обнаружения на Русской платформе новых среднепалеозойских месторождений алмазов / М.В. Михайлов, Г.А. Беляев, Т.С. Кузьмина и др. // Региональная геология и металлогения — 2000. — № 12. — С. 158–177.
5. Савко, А.Д. Ассоциация минералов-индикаторов алмазоносности в осадочном чехле Воронежской антеклизы / Проблемы алмазной геологии и некоторые пути их решения / А.Д. Савко, Л.Т. Шевырев, В.В. Ильяш. — Воронеж, 2001. — С. 423–433.
6. Савко, А.Д. Алмазы и их спутники из осадочного чехла Воронежской антеклизы // Тр. науч.-исслед. ин-та геологии Воронеж. гос. ун-та. — Вып. 47 / А.Д. Савко, Л.Т. Шевырев, В.В. Ильяш. — Воронеж: ВГУ. — 2007. — 122 с.
7. Харьков, А.Д. Минералогические основы поисков алмазных месторождений / А.Д. Харьков. — М.: Недра. — 1978. — 136 с.
8. Черешинский, А.В. Акцессорные минералы базальных горизонтов Воронежской антеклизы (в связи с вопросами алмазоносности) // Тр. науч.-исслед. ин-та геологии Воронеж. гос. ун-та. — Вып. 48 / А.В. Черешинский, А.Д. Савко. — Воронеж: ВГУ. — 2007. — 120 с.
9. Черешинский, А.В. Минералы-спутники алмазов из меловых отложений северо-западного склона Воронежской антеклизы / А.В. Черешинский // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. Геология. — № 4. — 2015. — С. 114–121.
10. Черный, С.Д. Минералогические критерии и перспективы алмазоносности юго-восточной части Воронежского кристаллического массива // Проблемы алмазной геологии и некоторые пути их решения / С.Д. Черный, А.И. Дак, Ю.В. Сафьянников и др. — Воронеж, 2001. — С. 437–442.
11. Шевырев, Л.Т. Алмазоносность центральной части Восточно-Европейской платформы (Воронежская антеклиза) // Тр. науч.-исслед. ин-та геологии Воронеж. гос. ун-та. — Вып. 90 / Л.Т. Шевырев, А.В. Черешинский. — Воронеж: ВГУ. — 2015. — 283 с.

© Черешинский А.В., Савко А.Д., Шевырев Л.Т., 2021

Черешинский Алексей Васильевич // vsu31022@mail.ru  
Савко Аркадий Дмитриевич // savko@geol.vsu.ru  
Шевырев Леонид Тихонович // shevpp@yandex.ru

УДК 553.98:552.14

**Гатиятуллин Н.С. (Казанский филиал ФБУ «Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых»),  
Баратов А.Р., Гатиятуллин Р.Н. (Татарское геологоразведочное управление (ТГРУ) ПАО «Татнефть»)**

### **ПЕТРОГЕНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНДАМЕНТА ЮЖНО-ТАТАРСКОГО СВОДА (ЮТС) — ОСНОВНОЙ НЕФТЕНОСНОЙ СТРУКТУРЫ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА ВОЛГО-УРАЛЬСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ**

*Научная обработка материалов глубоких и сверхглубоких скважин подтвердила теоретические предположения о том, что на значительной глубине кристаллический фундамент не является монолитным массивом, а представляет собой открытую систему, в которой*