

ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛОВ И ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ТИТАНОВЫХ РУД ЯСТРЕБОВСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГО-ВОСТОКА ВОРОНЕЖСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ

А. В. Черешинский, А. В. Милаш

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 15 февраля 2019 г.

Аннотация: образования ястребовского времени на юго-востоке Воронежской антеклизы представлены дельтовыми, лагунными, прибрежно-морскими, мелководно-морскими, вулканогенно-осадочными и вулканогенными образованиями. Перспективные площади на титановые руды приурочены к туфам, туффитам и туфопесчаникам. Содержание ильменита в рудах достигает 200–400 кг/м³. Ильменит имеет специфический химический состав, характеризуется повышенным содержанием MgO и TiO₂. Хромишпинелиды являются характерным минералом, с низким содержанием Al₂O₃ и высоким TiO₂ и MgO. Кроме собственной ильменитовой компоненты для проанализированных зерен характерно наличие магниевой разновидности – гейкилита, и марганцевой – пирофанита. В качестве включений в исследуемых ильменитах отмечены монацит, апатит и тальк. Помимо ильменитов изучены хромишпинелиды, которые так же являются характерным минералом, с низким содержанием Al₂O₃ и высоким TiO₂ и MgO. При этом наблюдается обратная корреляция содержания Cr₂O₃ и FeO.

Ключевые слова: Воронежская антеклиза, туфы, туффиты, туфопесчаники, ильменит, хромишпинелид, палеозой.

TYPMORPHIC FEATURES OF MINERALS AND THE MATERIAL COMPOSITION OF THE TITANIUM ORES OF THE YASTREBOW DEPOSITS OF THE SOUTHEAST OF VORONEZH ANTECLISE

Abstract: the formations of the yastrebov time in the southeast of the Voronezh anteclyse are represented by delta, lagoon, coastal-marine, shallow-water, volcanogenic-sedimentary and volcanogenic formations. Prospective areas for titanium ores are confined to tuffs, tuffites and tuffstone. The content of ilmenite in ores reaches 200–400 kg/m³. Ilmenite has a specific chemical composition, characterized by a high content of MgO and TiO₂. Chrome-spinellids are a characteristic mineral with a low content of Al₂O₃ and high TiO₂ and MgO. In addition to their own components for the analyzed ilmenite grains characterized by the presence of magnesium species – geikielite, and manganese – pyrophanite. As inclusions in the studied ilmenites observed monazite, Apatite, and talc. In addition to ilmenite chromespinelides are studied, which are also characteristic of mineral with a low content of Al₂O₃ and high TiO₂ and MgO. There is an inverse correlation between Cr₂O₃ and FeO.

Keywords: Voronezh anteclyse, tuff, tuffite, tuffstone, ilmenite, chrome-spinellids, paleozoic.

На юго-востоке Воронежской антеклизы образования ястребовского времени развиты практически повсеместно. Породы с размывом залегают на отложениях ардаатовской и муллинской свит, в единичных разрезах на докембрийских образованиях, перекрываются чаплыгинской свитой, меловыми или четвертичными отложениями. Породы ястребовской свиты представлены полифациальным комплексом дельтовых, лагунных, прибрежно-морских, мелководно-морских, вулканогенно-осадочных и вулканогенных образований [1–3].

В разрезах преобладают песчаники, аргиллитоподобные глины, в меньшей степени развиты алевроли-

ты. Область сноса в ястребовское время находилась на юге и юго-западе рассматриваемой площади, представлена выветрелыми среднедевонскими осадочными породами и образованиями кристаллического фундамента архейского и нижнепротерозойского возраста. По направлению с юго-запада на северо-восток дельтовые и лагунные условия осадконакопления сменялись прибрежно-морскими и далее мелководно-морскими [1–3].

Наиболее распространены как по площади, так и в разрезе песчаники, среди которых можно выделить три типа: слюдисто-кварцевые, полевошпат-кварцевые и вулканомиктовые. Аргиллитоподобные глины

и алевриты распространены преимущественно в мелководно-морской зоне, в прибрежно-морских условиях они наблюдаются в виде маломощных линз. Глины по составу преимущественно каолиновые, в отдельных разрезах в заметных количествах присутствует хлорит.

Наибольший интерес для исследования представляют собой вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы, развитые в центральной части рассматриваемой территории на междуречье Дона и Хопра (рис. 1). Рассматриваемые образования в разное время изучались рядом авторов, из наиболее значимых работ следует отметить труды И. Н. Быкова, В. А. Канцерова, Б. Н. Одокого и др. [4–7]. Породы интересны как свидетельства палеозойского вулканизма, с ними связаны ильменитовые руды. Несмотря на большой

объем ранее проведенных исследований, выявление фациальных особенностей размещения ястребовских отложений, обработка новых результатов по минеральному и химическому анализам позволит на более представительном уровне оконтурить перспективные участки на титановое сырье. Кроме того, по мнению ряда исследователей, территория юго-востока Воронежской антеклизы является перспективной на обнаружение коренных алмазоносных тел [8–10]. Данное заключение сделано во многом на основании находок здесь мелких алмазов и минералов-индикаторов кимберлитов. Поэтому ястребовские отложения представляют интерес как возможный поставщик хромшпинелидов и пикроильменитов в более молодые коллекторы палеозойского, мезозойского и кайнозойского возраста.

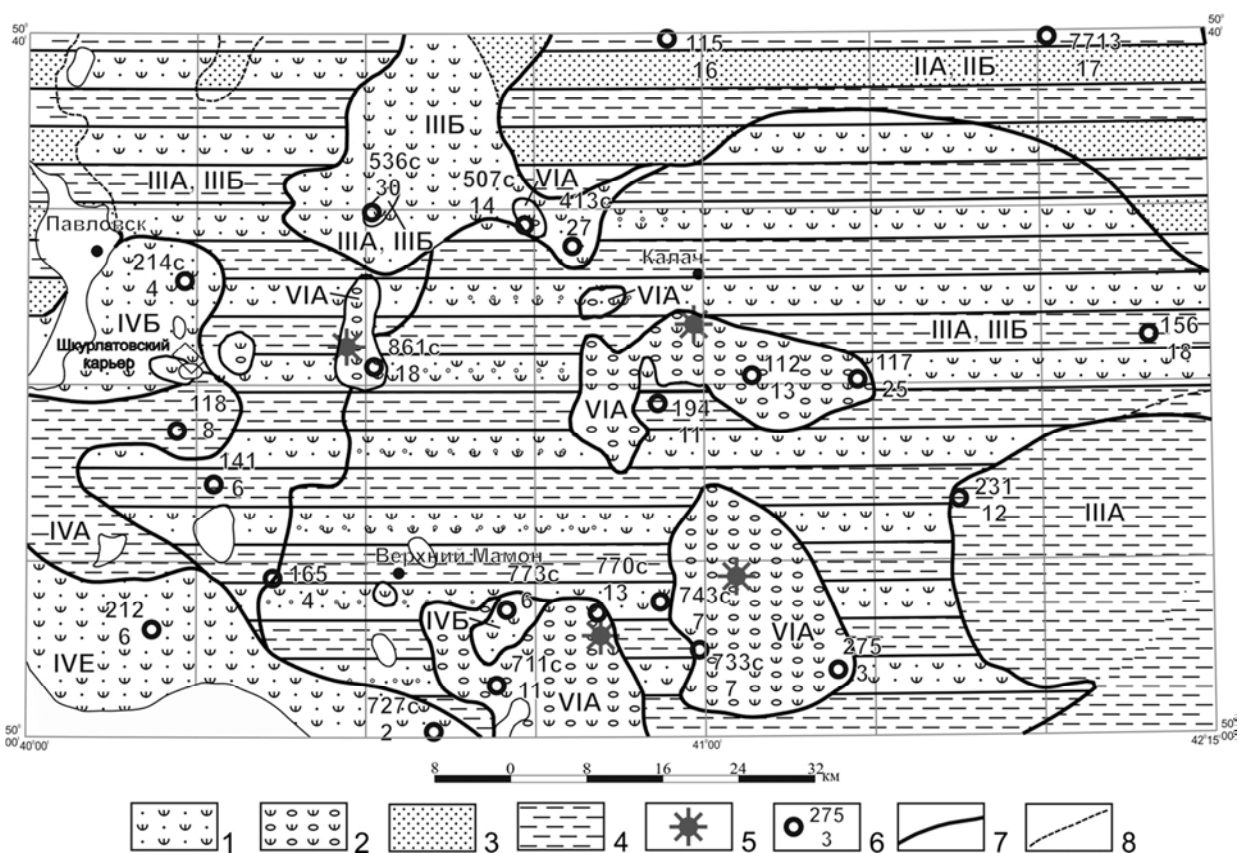


Рис. 1. Литолого-фациальная карта ястребовского времени: 1 – туфопесчаник; 2 – туфоконгломерат, туфогравелит, часто с прослоями туфов, туффитов, лавобрекчий различного состава; 3 – песчаник; 4 – аргиллитоподобная глина; 5 – предполагаемые жерла вулканических аппаратов; 6 – опорная буровая скважина: в числителе номер скважины, в знаменателе мощность отложений; 7 – границы фациальных зон; 8 – границы фациальных подзон. Фациальные обстановки: IIA – мелководно-морские, нормальной солености с слабой активностью гидродинамического режима; IIIB – мелководно-морские, нормальной солености с средней активностью гидродинамического режима; IIIA – прибрежно-морские, нормальной солености с слабой активностью гидродинамического режима; IIIB – прибрежно-морские, нормальной солености с средней активностью гидродинамического режима; IVA – лагунные и лиманные, относительно глубоководные, опресненные; IVB – лагунные и лиманные, мелководные, опресненные; IVE – дельтовые; VII – отложения вулканических построек.

Эффузивные породы представлены базальтами, встречаются в единичных разрезах в ряде скважин, пробуренных в пределах зоны Новохоперского разлома. Вулканогенно-обломочные породы представлены туфами и туффитами, вулканогенно-осадочные – туфогравелитами, туфопесчаниками, туфоалевритами и

туфоаргиллитами.

Среди туфов преобладают разности щелочно-базальтового и базальтового состава, гораздо реже встречаются туфы трахириолитов и риолитов (рис. 2). В разрезах туфы составляют не более 10 % от объема породы, что свидетельствует о переработке

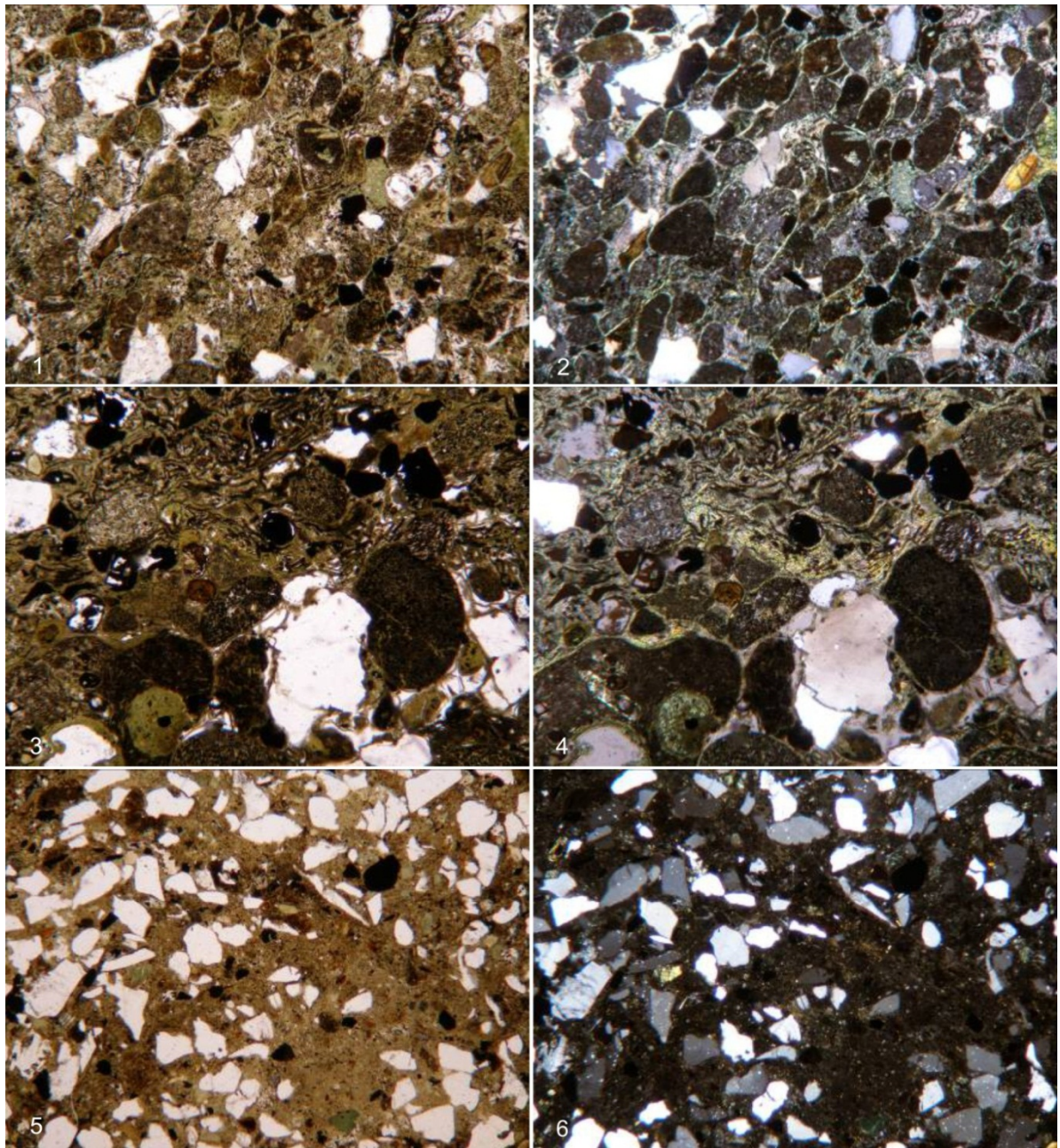


Рис. 2. Фотографии петрографических шлифов, увеличение 30, слева – николи параллельные, справа – скрещенные: 1-2 – туфы щелочно-базальтоидного состава; 3-4 – туффиты; 5-6 – туфопесчаники. *Q* – кварц, *Kfs* – калиевый полевой шпат, *Cl* – хлорит, *Rd* – рудные минералы, *Ef* – эффузивы.

вулканического материала в осадочном процессе. Для туфов характерен темно-зеленый или бурый цвет, последний свойственен ожелезненным разностям. Породы плотные или слабо сцементированные, с обломочной структурой. Среди обломков резко преобладают эффузивные породы (до 90–95%), в гораздо меньшем количестве встречаются полевые шпаты, ильменит, хромит и магнетит. Для обломков характерна преимущественно угловато-округлая форма, они хлоритизированы, иногда полностью замещены глинистыми минералами.

Связующая масса, заполняющая промежутки между обломками пород в первоначальном состоянии

представляла собой вулканическое стекло, которое при выветривании было замещено агрегатами хлорита, а также глинистым и карбонатным материалом.

Для туффитов, как и для туфов, характерен преимущественно щелочно-базальтовый состав, цвет породы от темно-зеленого и зеленого у слабыветрелых разностей, до желтовато-бурого у измененных пород (рис. 2). Туффиты слоистые, часто слабо уплотненные, в их составе преобладают обломки хлоритизированных эффузивов (до 67%), кварца (до 12%), полевого шпата (до 7%), ильменита (от 0,7 до 60%), реже встречаются другие минералы. Размер обломков колеблется в значительных пределах, пре-

обладающая форма – округлая или угловато-округлая. Цементирующая масса имеет хлорит-глинистый или хлорит-глинисто-карбонатный состав.

Вулканогенно-осадочные породы характеризуются более широким распространением, представлены туфогравелитами, туфопесчаниками, туфоалевритами и туфоаргиллитами. В разрезах преобладают мелко-среднезернистые туфопесчаники, реже встречаются крупнозернистые, грубозернистые и туфогравелиты. Доля обломков эффузивов составляет около 10–30%. В нижней части изученной толщи преобладают обломки основного состава, вверх по разрезу возрастает количество обломков среднего и кислого состава.

Туфоалевролиты и туфоаргиллиты представляют собой железисто-глинистые или хлорито-глинистые породы. Часто содержат примесь мелких угловато- и округло-угловатых обломков кварца, окруженных каймой карбоната. Туфоалевролиты отличаются преобладанием частиц алевритовой размерности. Ильменит и кварц иногда образуют послейные скопления, подчеркивая этим вулканогенно-осадочный генезис породы.

Рудные минералы в туфах представлены в основном ильменитом и магнетитом. Они образуют тонкую вкрапленность в цементе, также ильменит характерен для обломков. Ильменит в туффитах, так же как и в туфах, характерен как для обломков эффузивных пород, так и для цементирующей массы. Распределение рудных минералов зачастую происходит в виде тонких прослоев. Форма зерен кварца угловатая и угловато-округлая, полевых шпатов – угловатая, реже таблитчатая. Рудные в пестроцветных туффитах представлены теми же минералами, что и в зеленоцветных, но значительная часть ильменита замещена лейкоксеном.

В туфопесчаниках в тяжелой фракции доминируют непрозрачные минералы, среди которых преобладает ильменит, в меньшем количестве встречены магнетит, титаномагнетит, хромшпинелид и лейкоксен. В виде единичных знаков наблюдается пирит, гематит, сфалерит, и халькопирит. Прозрачные минералы представлены цирконом, турмалином, ставролитом, альмандином, рутилом и дистеном. Практически во всех разрезах циркон резко преобладает. В виде единичных знаков обнаружены муассанит, монацит, апатит, оливин, пироксены, шпинель, сфен и пироп [6]. Роль прозрачных минералов возрастает по мере удаления от района вулканической деятельности.

Таким образом, перспективные площади с максимальным содержанием рудных минералов (ильменита) характерны для междуречья Дона и Хопра в пределах развития пород околожерловой фации. Они характеризуются максимальными мощностями и наибольшей размерностью вулканогенно-обломочных пород. Данные площади распространены в виде отдельных полей вблизи разломов, где существовали предполагаемые вулканические аппараты. Эти поля, как правило, имеют близкую к изометричной форму.

Мощность продуктивных пластов составляет от первых метров до 13–20 м, нередко они образуют 2–3

рудноносных горизонта. Мощность вскрышных пород колеблется от 10–25 м до 80 м и более. Содержание ильменита меняется в довольно широких пределах – от первых килограммов до 200–400 кг/м³. Всего на юго-востоке Воронежской антеклизы в результате геолого-съёмочных и поисковых работ выделено 17 проявлений титановых руд [11, 12]. На территорию исследования имеются утвержденные прогнозные ресурсы по категории Р₂ на титановое сырье, которые составляют 35,8 млн т TiO₂ [12].

Главным рудным минералом во всех типах вулканогенных и вулканогенно-осадочных образований является ильменит. Для него характерен черный и темно-серый цвет, отдельные зерна за счет лейкоксенизации приобретают светло-коричневый и желтоватый оттенок. Как правило, ильменит имеет металлический или металловидный блеск, он слабомагнитный, редко трещиноватый.

В изученных образованиях ильменит представлен хорошо выраженными кристаллами и обломками зерен. Среди кристаллов в цементирующей массе преобладают толстотаблитчатые зерна, меньшим распространением пользуются тонкотаблитчатые и ромбоэдрические. Среди обломков выявлены угловатые и угловато-округлые зерна, которые, чаще всего являются включениями в цементе.

Для обломков эффузивных пород характерны ксеноморфные зерна разной формы, гораздо реже встречаются идиоморфные (рис. 3). Для первых характерны различные морфологические очертания. Встречаются изометричные или близкие к этому зерна, а также в различной степени вытянутые до шестоватых и игольчатых.

Химический состав зерен минералов был изучен с помощью рентгеновского микроспектрального (микронного) анализа. Из туфов, туффитов и туфопесчаников было отобрано 118 зерен ильменита и приготовлены полированные препараты для исследования на электронном микроскопе Jeol 6380 LV с энергодисперсионной системой количественного анализа Inca-250 (ВГУ, аналитик Н. С. Базиков).

Для ильменита характерно довольно непостоянное содержание двух главных компонентов: FeO и TiO₂. Так количество FeO в проанализированных зернах колеблется от 40,13 до 53,09%, при среднем значении 43,59%. Для TiO₂ наблюдается схожая картина, его количество колеблется от 40,94 до 53,64%, среднее содержание составляет 50,43%. Полученные результаты довольно близки к теоретическим содержаниям FeO и TiO₂ в ильмените, которые составляют 47,3 и 52,7% соответственно.

Кроме собственной ильменитовой компоненты для проанализированных зерен характерно наличие магниево-разновидности – гейкилита, и марганцевой – пирофанита. Количество MgO в ильменитах колеблется от 0,81 до 8,29%, при среднем содержании 5,12%. При этом магний характерен для всех проанализированных зерен. Единичные зерна, содержащие MgO более 8%, можно отнести к пикроильмениту.

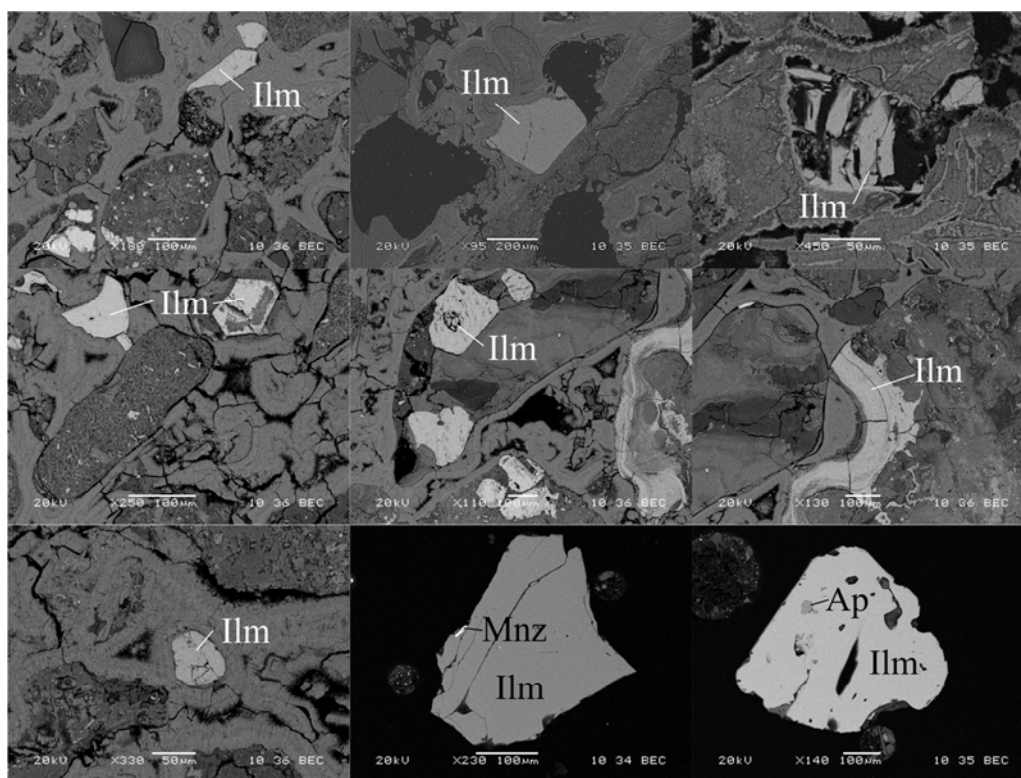


Рис. 3. Морфологические особенности ильменитов: *Ilm* – ильменит, *Mnz* – монацит, *Ap* – апатит.

Полученные результаты хорошо коррелируются с материалами В. А. Канцера, по данным которого количество MgO в ильменитах может достигать 9,72% [6, 13].

Для трети изученных зерен характерно наличие MnO, его количество составляет от 0,41 до 7,25%, при средних значениях 1,09%. При этом наблюдается обратная зависимость содержания марганца и магния. Примерно для половины изученных зерен характерно незначительное присутствие Al₂O₃, его содержание колеблется в пределах от 0,44 до 0,96%. V₂O₅ и Cr₂O₃ являются редкими примесями, в большинстве изученных ильменитов отсутствуют. Количество V₂O₅ колеблется от 0,79 до 1,52, а Cr₂O₃ от 0,39 до 1,06%. Содержание примесей в ильмените непостоянно и зависит от генезиса пород и их состава [14]. Ильменит с повышенным содержанием гейкилита преимущественно характерен для ультраосновных пород и кимберлитов. Пирофанит в основном встречается в метаморфических, щелочных и кислых породах.

Ильменит в ходе кристаллизации способен захватывать порции родоначального расплава. В качестве включений в исследуемых ильменитах отмечены монацит, апатит и тальк (рис. 3). Монацит хорошо выделяется под электронным микроскопом, за счет яркого белого цвета, обусловленного содержанием редкоземельных элементов. Состав монацита (в мас. %): Ce₂O₃ – 27,61, La₂O₃ – 15,69, ThO₂ – 9,07. Кроме того для него характерно присутствие неодима, содержание Nd₂O₃ составляет 9,49%.

Апатит в полированном препарате выделяется по

более темному оттенку, зерна ксеноморфные, по форме близки к изометричным. Для него характерно присутствие редкоземельных элементов – лантана, церия, неодима и эрбия. Содержание составляет (в мас. %): La₂O₃ – 1,83, Ce₂O₃ – 2,35, Nd₂O₃ – 1,41, Er₂O₃ – 1,35. Тальк, по-видимому, является конечным продуктом изменения оливина, содержит в мас. %: MgO – 31,03, SiO₂ – 62,82, MnO – 0,37.

Для ильменитов существует несколько взаимоисключающих выводов. По данным В. А. Канцера часть ильменитов относится к высокомагнезиальным (пикроильменит), которые близки по составу микроильменитам кимберлитов [6, 13]. М. В. Михайлов для юго-востока Воронежской антеклизы выделил два типа ильменитов – ястребовский и осетровский [8]. Ястребовский характерен для вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород, а осетровский для более молодых образований в песчано-каолиновой толще [15]. Ильмениты ястребовского типа характеризуются преимущественно низким содержанием MgO, нехарактерным для алмазных пород [8].

Проанализированные нами ильмениты (рис. 4) отличаются большим разнообразием содержания MgO. При этом довольно значительная часть точек составов попадает в поле ильменитов осетровского типа.

При изучении полированных препаратов с использованием рентгеновского микроспектрального анализа выявлено, что два зерна характеризуются повышенным содержанием титана, заметно более высоким, чем у ильменита (66,18–66,38% TiO₂). Полученные данные по химическому составу достаточно уверенно

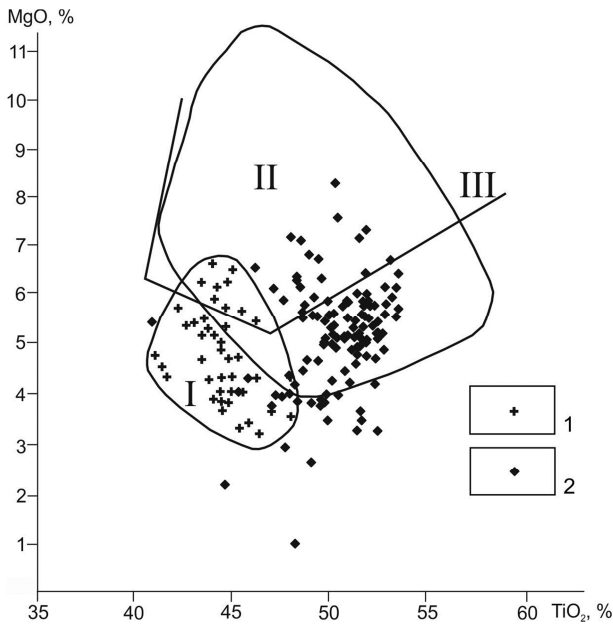


Рис. 4. Химический состав ильменитов: I – поле ильменитов ястребовского типа; II – поле ильменитов осетровского типа; III – поле кимберлитовых пикроильменитов. 1 – состав ильменитов по данным М. В. Михайлова [8]; 2 – состав ильменитов и пикроильменитов.

пересчитываются на кристаллохимическую формулу псевдорутила. По сравнению с ильменитом он характеризуется пониженным содержанием MgO (не более 2,78%). Псевдорутил является обычным минералом

титановых россыпей [15–16], в основном он формируется в результате окисления ильменита.

Магнетит является обычным минералом, представлен преимущественно ксеноморфными зернами, гораздо реже встречаются октаэдрические кристаллы. В магнетите присутствует титан, часть зерен относится к титаномagnetиту. Содержание в рудах непостоянно, достигает 3% для магнетита и 5% для титаномagnetита [6].

Хромшпинелиды являются характерным минералом, их количество в пробах составляет от единичных знаков до 2–3%. Изученные зерна хромшпинелидов представлены правильными кристаллами октаэдрического облика, реже встречаются зерна без кристаллографических очертаний (рис. 5). Для них обычны хорошо выраженные грани и немного сглаженные ребра и вершины. Поверхность зерен чаще всего шероховатая или матированная. Для большинства зерен характерны каналы травления. На гранях отмечаются углубления правильных геометрических очертаний, среди которых преобладают треугольники.

Для изучения особенностей химического состава хромшпинелидов, с помощью рентгеновского микроспектрального анализа, было исследовано 39 зерен. Для хромшпинелидов характерны довольно широкие вариации состава компонентов, в том числе и по основному элементу – оксиду хрома. В изученных зернах содержания составляют (мас. %): TiO_2 – 3,56–19,97, Al_2O_3 – 3,18–9,0, MgO – 5,61–16,96, Cr_2O_3 – 20,18–46,08, FeO – 24,95–51,76. Для 4 изученных зерен

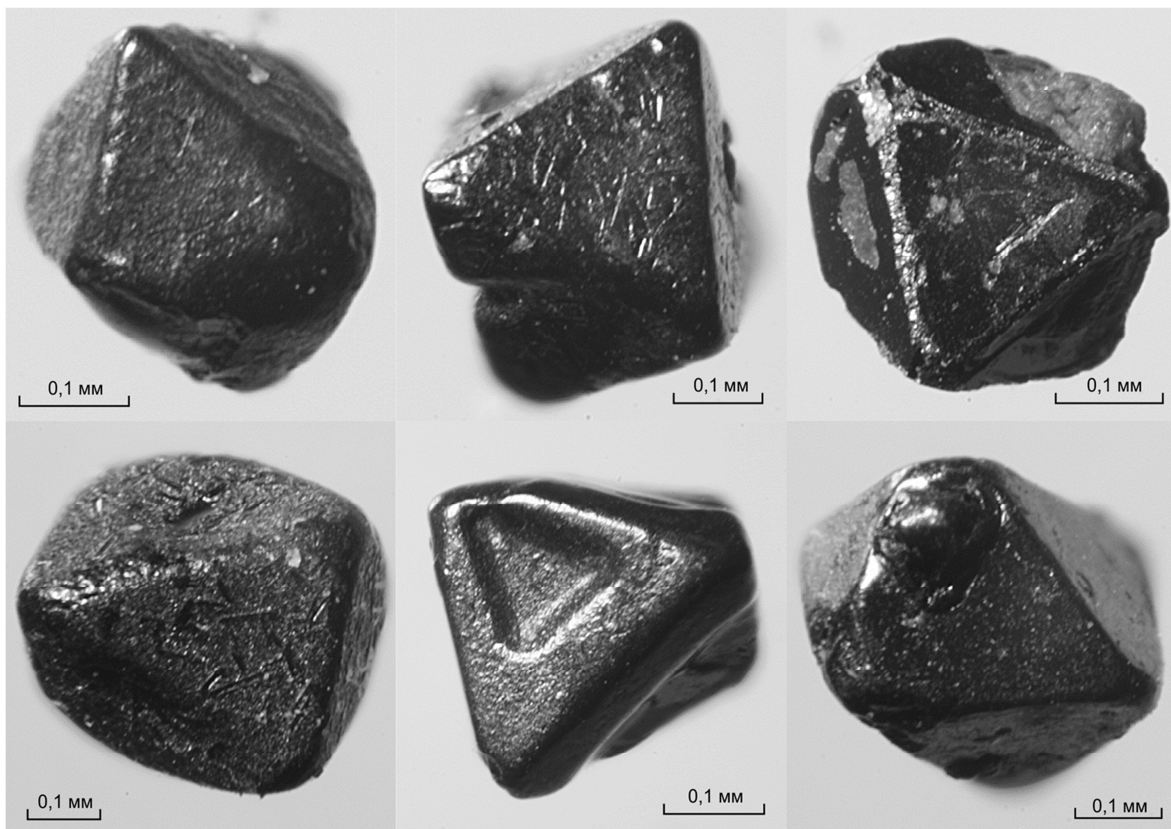


Рис. 5. Морфологические особенности хромшпинелидов.

характерно наличие MnO, его количество составляет до 0,98%, для одного зерна отмечается V₂O₅ – 0,65%. Таким образом, для выявленных зерен имеются следующие особенности химического состава: низкая глиноземистость, высокие содержания TiO₂ и MgO, широкие вариации для хрома и железа. При этом наблюдается обратная корреляция содержания Cr₂O₃ и FeO.

Хромшпинелиды являются хорошими индикаторами фаций глубинности и условий образования пород, обладают способностью к широкому изоморфизму входящих в их состав элементов и свойственны для различных по составу и происхождению пород [17].

Для генетической интерпретации проанализиро-

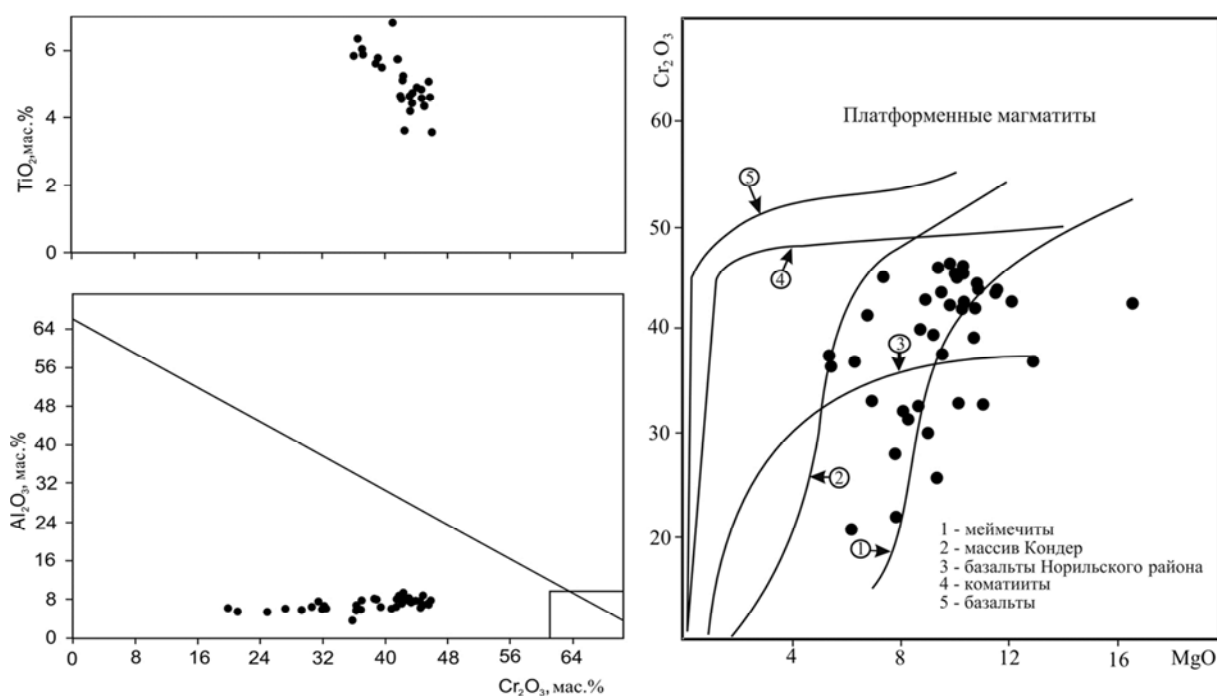


Рис. 6. Особенности состава хромшпинелидов в координатах TiO₂–Cr₂O₃ и Al₂O₃–Cr₂O₃ (диаграмма Н. В. Соболева) и MgO–Cr₂O₃ (диаграмма Ч. Фипке).

Выводы

В ястребовское время на юго-востоке Воронежской антеклизы накопление отложений происходило в дельтовых, лагунных, прибрежно-морских и мелко-водно-морских условиях. Для рассматриваемого региона характерно наличие в разрезе эффузивных образований, представленных туфами, туффитами и вулканогенно-осадочными породами (туфогравелиты, туфопесчаники, туфоалевриты и туфоаргиллиты).

В вулканогенных и вулканогенно-осадочных породах, сформированных в ястребовское время, повышено содержание рудных минералов, представленных в основном ильменитом. Он характерен как для цементирующей массы, так представлен и в виде обломков. Количество ильменита меняется в довольно широких пределах, при максимальных содержаниях до 200–400 кг/м³. Титановые руды являются трудно-

обогатимыми. Высокое содержание Cr₂O₃ снижает качество ильменитового концентрата.

Ильменит из вулканогенных пород юго-востока Воронежской антеклизы имеет специфический химический состав, который выражается в виде повышенного количества MgO и MnO. Среднее содержание MgO составляет 5,12%, при максимальных значениях – 8,29%. Часть изученных зерен по составу соответствуют пикроильмениту. MnO характерен для трети изученных зерен, его количество достигает 7,25%, при средних значениях 1,09%. Выявленные особенности химического состава обусловлены кристаллизацией минералов в магме повышенной щелочности, богатой титаном и магнием.

При использовании шлихоминералогического метода поиска алмазов, на рассматриваемой территории, необходимо учитывать, что часть ильменита посту-

пающего из ястребовских вулканитов отличается повышенным содержанием MgO и на основании этого он может быть ошибочно отнесен к минералам-индикаторам кимберлитов.

Хромшпинелиды характеризуются относительно низким содержанием Cr_2O_3 и высоким TiO_2 . По своему химическому составу они отличаются от хромшпинелидов алмазной ассоциации, в которых содержание Cr_2O_3 более 62 мас. %, а также и низкие значения Al_2O_3 (менее 8,5 мас. %) и TiO_2 (менее 0,5 мас. %) [22].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00115 мол_а.

The reported study was funded by RFBR according to the research project № 18-35-00115 мол_а.

ЛИТЕРАТУРА

1. Милаш, А. В. Литолого-фациальная характеристика ястребовских отложений юго-востока Воронежской антеклизы / А. В. Милаш // Вестник Воронеж. гос. ун-та. – Сер.: Геология. – Воронеж. – 2016. – № 1. – С. 37–43.
2. Литология и фации донеогеновых отложений Воронежской антеклизы / А. Д. Савко [и др.]. – Труды научно-исследовательского института геологии Воронеж. гос. ун-та. – Вып. 3. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2001. – 201 с.
3. Савко, А. Д. Геология Воронежской антеклизы / А. Д. Савко. – Труды научно-исследовательского института геологии Воронеж. гос. ун-та. – Вып. 12. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2002. – 165 с.
4. Быков, И. Н. Верхнедевонские базальты юго-восточной части Воронежской антеклизы / И. Н. Быков. – Воронеж: Изд-во Воронежского ун-та. – 1975. – 132 с.
5. Быков, И. Н. Полезные ископаемые вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород / И. Н. Быков, В. А. Канцеров // Полезные ископаемые Воронежской антеклизы. – Воронеж. – 1989. – С. 100–117.
6. Канцеров, В. А. Ильменитоносные вулканогенно-осадочные породы верхнего девона юго-востока Воронежской антеклизы / В. А. Канцеров. – Автореф. дис. к. г.-м.н. – Харьков: ХГУ. – 1984. – 23 с.
7. Одокий, Б. Н. Проявление верхнедевонского вулканизма на юге Воронежской области / Б. Н. Одокий, В. Н. Бунеев, В. И. Беляев // Тр. 3-го совещания по проблеме изучения Воронежской антеклизы. – Воронеж. – 1966. – С. 208–212.
8. Перспективы обнаружения на Русской платформе новых среднепалеозойских месторождений алмазов / М. В. Михайлов [и др.] // Региональная геология и металлогения. – 2000. – № 12. – С. 158–177.
9. Савко, А. Д. Ассоциация минералов-индикаторов алмазности в осадочном чехле Воронежской антеклизы / А. Д. Савко, Л. Т. Шевырёв, В. В. Ильяш // Проблемы алмазной геологии и некоторые пути их решения. – Воронеж. – 2001. – С. 423–433.
10. Минералогические критерии и перспективы алмазности юго-восточной части Воронежского кристаллического массива / С. Д. Черный [и др.] // Проблемы алмазной геологии, Воронеж, ВГУ, 2001. – С. 437–442.
11. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Лист М-37-ХVII (Павловск). Объяснительная записка. – М.: МФ ВСЕГЕИ, 2013. – 176 с.
12. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Лист М-37. Воронеж. Объяснительная записка. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2011. – 255 с.
13. Канцеров, В. А. О минералах-спутниках алмаза в фанерозойских отложениях юго-востока Воронежской антеклизы / В. А. Канцеров, И. Н. Быков // Современ. проблемы геологии. мат. юбилейной научн. сес. геолфака ВГУ. Воронеж. – 1998. – С. 71–73.
14. Багдасаров, Э. А. Сравнительная характеристика состава ильменитов изверженных пород. / Э. А. Багдасаров // Записки Всесоюзного минералогического общества. – 1986. – №2. – С. 155–165.
15. Савко, А. Д. Литология и полезные ископаемые мамонской песчано-каолиновой толщи Воронежской антеклизы / А. Д. Савко, С. В. Мануковский, Л. Т. Шевырёв. – Труды научно-исследовательского института геологии Воронеж. гос. ун-та. – Вып. 53. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2009. – 112 с.
16. Игнатъев, В. Д. Новые данные о механизме гипергенного окисления ильменита. / В. Д. Игнатъев // Уральский геологический журнал. – 1999. – № 4 (10). – С. 119–126.
17. Макеев, А. Б. Типоморфные особенности минералов титановых руд Пижемского месторождения. / А. Б. Макеев // Минералогия. – 2016. – № 1. – С. 24–49.
18. Плаксенко, А. Н. Типоморфизм аксессуарных хромшпинелидов ультрамафит-мафитовых магматических формаций / А. Н. Плаксенко. – Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1989. – 221 с.
19. Ваганов, В. И. Алмазные месторождения России и мира (основы прогнозирования) / В. И. Ваганов. – М.: ЗАО «Геоинформмарк». – 2000. – 371 с.
20. Соболев, Н. В. О минералогических критериях алмазности / Н. В. Соболев // Геология и геофизика, 1971. – № 1. – С. 70–80.
21. Fipke, C. E. Significance of chromite, ilmenite, G5 Mg-almandine garnet, zircon and tourmaline in heavy mineral detection of diamond bearing lamproite / С. Е. Fipke // V International Kimberlite Conference, Brazil. Spec. Publ. 1A. – 1994. – С. 366–381.
22. Харькив, А. Д. Коренные месторождения алмазов мира / А. Д. Харькив, Н. Н. Зинчук, А. И. Крючков. – М. – 1998. – 555 с.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»,
НИИ Геологии

Черешинский Алексей Васильевич, ответственный исполнитель, кандидат геолого-минералогических наук
E-mail: vsu31022@mail.ru; Тел.: +7 (473) 220 78 42

Милаш Алексей Васильевич, ведущий инженер, кандидат геолого-минералогических наук
E-mail: pirit86@yandex.ru; Тел.: +7 (473) 220 78 42

Voronezh State University,
Scientific Research Institute of Geology

Chereshinskii A. V., responsible contractor, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences
E-mail: vsu31022@mail.ru; Тел.: +7 (473) 220 78 42

Milash A. V., the lead engineer, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences
E-mail: pirit86@yandex.ru; Тел.: +7 (473) 220 78 42